



FONDO PIZZOFALCONE



~~27-6-43~~

1273

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio VII

Palchetto

Num.° d'ordine 10 27-6-43

~~27-6-43~~

NAZIONALE

B. Prov.

R. BIBLIOTECA

VITT. EM. III

718

NAPOLI



B. C. C. C.
II

218-220



**TRAITÉ
DE GÉOGNOSIE.**



TOME PREMIER.

*Le nombre d'exemplaires prescrit par la loi a été
déposé. Tous les exemplaires sont revêtus de la signa-
ture de l'éditeur.*

P. G. Levrault

609896 SBN

TRAITÉ DE GÉOGNOSIE,

OU

EXPOSÉ DES CONNAISSANCES ACTUELLES SUR
LA CONSTITUTION PHYSIQUE ET MINÉRALE
DU GLOBE TERRESTRE.

PAR

J. F. D'AUBUISSON DE VOISINS,

Ingénieur en chef au Corps royal des Mines, ancien Officier d'artillerie;
Chevalier de l'ordre royal et militaire de Saint-Louis, et de la Légion
d'honneur; Correspondant de l'Institut de France; Secrétaire perpétuel
de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse;
de la Société géologique de Londres, des Sociétés d'histoire naturelle
de Berlin, de Dresde, etc.

NOUVELLE ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE.

TOME PREMIER.



PARIS,

Chez F. G. LEVRAULT, rue de la Harpe, n.° 81,
et rue des Juifs, n.° 33, à STRASBOURG.

BRUXELLES, Librairie parisienne, rue de la Magdeleine, n.° 348.
1828.

0.62,000

ERRATA.

Page 333, ligne 20, *fig. 9*, lisez *fig. 8*.

Page 388, ligne 7, 4775, lisez 4810.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

~~~~~

**P**EU de connaissances sont aussi propres à exciter la curiosité de l'homme, et paraissent plus dignes d'occuper son esprit, que celle de la structure et de la formation du globe qu'il habite. Dès qu'il commença à faire usage de la faculté de raisonner, il dut l'exercer sur de pareils objets : aussi, l'histoire des opinions géologiques remonte-t-elle jusqu'aux temps les plus reculés. Elles faisaient partie des études des prêtres égyptiens, premiers dépositaires des sciences humaines ; et d'après ce qui est parvenu jusqu'à nous, ils regardaient la terre comme ayant été originairement recouverte par les eaux, et comme s'étant formée dans leur sein. Cette doctrine

avait ainsi une grande conformité avec celle qui est exposée dans les livres sacrés, où le plus ancien des écrivains, Moïse, nous représente le Tout-Puissant formant l'univers au milieu des eaux, rassemblant ensuite, en un seul lieu, celles qui couvraient notre globe, et donnant ainsi naissance à la terre (1).

De l'Égypte, les connaissances scientifiques passèrent dans la Grèce. A l'exemple de plusieurs philosophes de sa nation, Thalès alla s'instruire chez les Égyptiens; il rapporta à Milet leur système géologique, et il l'enseigna dans son école, la plus justement célèbre de l'antiquité, sous le rapport des sciences naturelles. Dans quelques autres, néanmoins, on professa des systèmes différents : c'est ainsi que Zénon présentait le feu comme le principe de tout, et, par suite, de la terre;

---

(1) ✧ 1. *In principio creavit Deus cælum et terram.*

✧ 2. *Terra autem erat inanis et vacua, et tenebræ erant super faciem abyssi : et spiritus Dei ferebatur super aquas.*

✧ 9. *Dixit verò Deus : Congregentur aquæ, quæ sub cælo sunt, in locum unum; et appareat arida. Et factum est ita.*  
Genèse, chap. 1.

que, d'après quelques-uns de ses disciples, les astres éprouvaient alternativement, dans les termes extrêmes de leurs révolutions, des conflagrations générales et des cataclysmes universels ; qu'ailleurs on regardait la terre, le ciel et même les dieux comme composés d'une matière éthérée. Au reste, il serait oiseux de chercher la moindre notion d'une géologie positive chez des philosophes, ou plutôt chez des sophistes, qui, dédaignant la connaissance des faits, étaient entièrement livrés à leur imagination, et ne faisaient cas que de ses productions. Rien ne pouvait fournir un aliment plus propre à satisfaire leur goût et leur penchant pour les dissertations, que des hypothèses sur la formation de la terre : ils s'y exercèrent à l'envi, et ils parcoururent presque en entier le cercle des choses possibles. Aussi y a-t-il peu de vérités générales auxquelles nos travaux et nos sciences nous aient conduits, dans ces derniers temps, dont on ne trouve des indices, et quelquefois même l'énoncé positif dans leurs écrits : mais elles n'y portent pas sur

des fondements plus solides que les erreurs au milieu desquelles elles sont avancées.

Ce mode entièrement spéculatif de traiter la géologie s'est continué, à quelques légères exceptions près, jusque vers la fin du dernier siècle. Il n'a produit que de vaines théories dont l'ensemble ne mérite certainement pas le nom de science, et qui ont jeté une défaveur sur celle qui, d'après son étymologie, devait avoir pour objet la *connaissance de la terre*.

L'heureuse révolution que Bacon et Newton avaient opérée dans l'étude des sciences naturelles ne se fit ressentir que bien tard dans celle de la géologie. Il en coûtait trop à des esprits systématiques, accoutumés à la spéculation, de descendre de la brillante sphère de l'imagination à la froide recherche des faits, et d'abandonner un exercice de l'esprit pour se livrer à un travail en apparence mécanique. Vainement, dès le seizième siècle, Agricola, en Saxe, et, en France, Bernard de Palissy, simple potier de terre, avaient déduit de l'observation



quelques idées raisonnées sur la formation des substances minérales ; la faible lueur qu'avaient jetée ces deux hommes extraordinaires pour leur siècle , s'éteignit bientôt ; et la géologie se perdit dans l'obscurité et dans la frivolité des discussions scolastiques.

Cependant des faits aussi évidents que remarquables s'offraient de toutes parts : les coquillages, les empreintes de poissons, et les autres vestiges d'animaux et de végétaux qu'on trouve souvent dans l'intérieur des masses minérales, en attestant qu'une portion de l'écorce du globe avait été formée postérieurement à l'existence des êtres organisés, ne pouvaient manquer d'attirer l'attention des savants. Mais à une époque, où toutes les questions scientifiques étaient soumises au domaine de la théologie, ces faits furent attribués au déluge universel, et l'on disserta long-temps sur la manière dont il pouvait les avoir produits. Toutefois, déjà en 1547, Frascatoro avait remarqué que ces vestiges ne pouvaient avoir été enfouis à une même époque ; et plus tard (1669) Stenon

entrevit qu'ils pourraient servir à distinguer l'âge relatif des masses qui les renferment.

De Maillet, qui avait long-temps résidé en Égypte, où il s'était imbu de la doctrine des anciens philosophes de ce pays, et où il avait vu comment les eaux augmentent, par leurs sédiments, la masse de la terre, essaya une explication générale de ces faits. Il reproduisit, dans son *Telliamed* (1), l'opinion que notre globe était composé de couches déposées successivement les unes sur les autres par une mer universelle dont la retraite graduelle avait mis à découvert nos continents.

Ce mode de formation fut admis par le célèbre Linné, dans son ouvrage sur l'accroissement de la terre habitable (*de telluris habitabilis incremento*).

Il le fut encore, au moins pour les couches superficielles du globe, par Buffon, dans son *Discours sur l'histoire et la théorie de*

---

(1) *Telliamed* est le nom de l'auteur en renversant l'ordre des lettres. 1740.

*la terre*, ouvrage essentiellement différent de ceux où il s'est efforcé depuis de soutenir l'hypothèse qu'il avait imaginée sur la formation du système planétaire: et, quoiqu'en général les tableaux de ce grand peintre de la nature soient plus recommandables par la noblesse des conceptions et par le brillant du coloris, que par l'exaetitude du trait, on ne saurait disconvenir que, dans celui-ci, il ne se soit tenu bien près des faits. Malheureusement ceux qu'il avait observés, et même ceux que l'on admettait à cette époque, étaient trop peu nombreux, et ils n'étaient pas tous également constatés.

Des faits positifs devaient être la base comme les matériaux de l'édifice à élever, et il fallait commencer par les rassembler: ici, de même que dans les autres branches de l'histoire naturelle et de la physique, la vraie science consiste à bien observer les faits, à les rapprocher de manière à faire ressortir leurs rapports, et à tâcher d'en déduire les lois auxquelles ils sont assujettis. On connaissait à peine, et imparfaitement,

quelques lieues carrées de la surface de la terre, et l'on voulait en conclure la formation du globe entier ! Ce mode de procéder dut être réformé ; il fallut d'abord faire connaître, d'une manière précise, la partie de la terre accessible à nos observations, et commencer, en conséquence, par des descriptions minéralogiques de diverses portions de cette terre.

Le Suédois Tylas est, je crois, le premier, qui, sentant l'avantage de pareilles descriptions, en entreprit et en publia quelques-unes (1750). L'exemple fut bientôt suivi : la quantité considérable d'exploitations souterraines qui existent en Suède et en Allemagne, et le grand nombre de personnes instruites attachées à leur direction, y multiplièrent et les minéralogistes et les descriptions minéralogiques. Celle que Lehmann donna, en 1756, des terrains à couches (*Flatzgebirge*) du centre de l'Allemagne, mérite d'être particulièrement citée.

Les traités de minéralogie qui parurent ensuite, notamment ceux de Wallérius

(1778) et de Gerhard, renferment déjà beaucoup de faits sur le gissement des minéraux. Mais aucun n'en présenta un plus grand nombre que la *Géographie physique* de Bergmann; ce savant illustre y exposa, dans un ordre méthodique, tous ceux qui étaient venus à sa connaissance, et tout ce que l'on savait alors sur les couches de la terre et sur les filons métalliques.

Dans ce même temps, de savants voyageurs s'attachèrent à l'étude du sol des contrées qu'ils parcouraient; on doit mettre au premier rang le célèbre Pallas, dont les voyages dans les parties les moins connues de la Russie ont procuré tant de connaissances sur ce vaste empire et sur son histoire naturelle: mais la rapidité avec laquelle ils furent faits, le peu de lignes parcourues dans un si grand espace, et l'état de la minéralogie à cette époque, font regretter que son grand ouvrage ne renferme pas une quantité proportionnée de faits géologiques bien circonstanciés: cependant, ceux qui y sont rapportés, les vues de l'auteur, et sur-

tout ses observations sur les nombreux ossements d'éléphants, de rhinocéros, et d'autres animaux de la zone torride, qu'on trouve enfouis dans le sol glacé de la Sibérie, contribuèrent encore à étendre nos connaissances en géologie, et ils leur donnèrent un nouvel intérêt.

La France eut aussi ses descriptions minéralogiques. Guettard et Monnet, assistés de plusieurs naturalistes, et secondés par le gouvernement, entreprirent, sur un vaste plan, celle de tout le royaume, et ils en exécutèrent quelques parties : mais les faits qu'ils recueillirent restèrent isolés, la géologie n'ayant pas encore des principes à l'aide desquels on pût les lier. L'illustre et malheureux Lavoisier coopéra à cette entreprise ; quelques mémoires qu'il y fournit, et la supériorité de son jugement, autorisent à penser que, si des circonstances particulières ne l'eussent détourné de cet objet, le réformateur de la chimie eût été vraisemblablement encore un de ceux de la géologie. D'autres savants essayèrent des descriptions par-

ticulières de nos provinces : Gensane donna celle du Languedoc ; Faujas celle du Dauphiné, et il nous fit encore connaître les volcans du Vivarais : déjà Desmarest avait décrit et rétabli, en quelque sorte, dans tous leurs droits, les produits volcaniques de l'Auvergne : Palassou, dans son *Essai sur les Pyrénées*, fit connaître la structure de ces montagnes ; et il nous apprit ce fait important, que la direction des couches y est parallèle à celle de la chaîne.

Mais, de tous les écrits qui parurent à cette époque (1779), aucun n'est plus important, aucun n'a plus contribué à l'avancement de la vraie géologie, que les premiers *Voyages de Saussure dans les Alpes*. L'auteur, esprit éclairé et judicieux, observateur exact et sans prévention, d'une imagination sage et réservée, ayant beaucoup d'ordre dans les idées et de lucidité dans leur exposition, physicien du premier ordre, philosophe mu entièrement par l'amour de la vérité et le désir de contribuer à l'avancement d'une branche de nos connaissances

pour laquelle il était passionné ; l'auteur, dis-je, est un de ces hommes précieux pour les sciences, et qui assurent infailliblement les progrès de celles dont ils s'occupent. Ses *Voyages*, remarquables par un grand nombre de faits minéralogiques importants, par des observations géologiques d'un haut intérêt, et par quelques excellentes digressions sur divers points de la physique du globe, sont encore aujourd'hui au premier rang parmi les ouvrages publiés sur des matières géologiques. Les conséquences y découlent naturellement des faits rapportés ; les idées systématiques ne s'y rencontrent que de loin à loin, et elles y sont présentées avec une réserve qui doit servir d'exemple. On désirerait peut-être que cet ouvrage formât un tout présentant plus d'ensemble, et que Saussure y eût consigné les résultats généraux de ses observations : mais on doit remarquer qu'il ne donnait au public qu'une suite de voyages faits successivement, et souvent à de longs intervalles les uns des autres ; certainement l'auteur des *Essais sur l'hygro-*



*métrie*, et des observations météorologiques faites sur le col du Géant, était bien capable de concevoir et d'exécuter, d'une manière supérieure, le plan d'un ouvrage scientifique. Quant aux résultats généraux, les chagrins qui l'affligèrent dans ses dernières années, et le dégoût qui en fut la suite, lui enlevèrent la force de rédiger le traité particulier dans lequel il s'était proposé de les rassembler.

Saussure eut pour émule, dans presque tous ses travaux, un de ses compatriotes, J. A. Deluc, de Genève, recommandable par les services qu'il a rendus à diverses parties de la physique et de la géologie : mais, esprit plus porté à la dissertation et à la controverse qu'à l'observation, écrivain diffus, ses nombreux ouvrages géologiques, pénibles à lire, renfermant peu de faits positifs, restent à une grande distance des *Voyages* de Saussure.

Quelques années avant la publication des écrits des savants dont nous venons de parler, un de ces hommes de génie que la na-

ture semble avoir destinés, dès leur premier âge, à la réforme des sciences, Werner, signalé par des talents précoces, fut chargé de professer la minéralogie dans la métropole même de cette science, à Freyberg en Saxe; dans l'école de l'Europe où la connaissance des minéraux avait été plus qu'ailleurs l'objet des travaux de plusieurs savants célèbres (Agricola, Henkel, Lonheis, Charpentier, etc.); et dans une contrée où un grand nombre d'ateliers souterrains avaient mis à même d'observer la manière dont les minéraux sont disposés dans le sein de la terre, et de remarquer plusieurs des circonstances qui ont dû accompagner leur formation. Embrassant son objet dans toute son étendue, Werner sentit que la minéralogie devait aussi traiter de la manière que les substances minérales constituent, par leur ensemble, la partie du globe accessible à nos observations. Trouvant, dans l'examen des couches minérales, des preuves incontestables de leur formation successive; et persuadé que la nature, qui a tout fait avec

ordre, en avait certainement suivi un dans cette série de formations, il s'occupa de sa recherche. Le peu qu'il trouva sur ce sujet, dans les auteurs qui l'avaient précédé, fut loin de le satisfaire, et peut-être même qu'aucun d'eux ne lui parut avoir envisagé la question sous son véritable point de vue : il ne fut pas difficile au plus habile des minéralogistes, à l'homme le plus porté à sortir des ornières de la routine, de s'ouvrir une nouvelle route, menant directement au but qu'il se proposait d'atteindre. Doué d'une merveilleuse sagacité, doué au suprême degré du talent de rapprocher les faits et de les coordonner entre eux, il réunit tout ce que ses propres observations et celles de ses devanciers lui avaient appris sur la composition et la structure des diverses masses ou couches minérales, sur leurs rapports entre elles, sur les circonstances de leur gissement et de leur formation, sur l'ordre de leur superposition et sur leur âge relatif, etc. ; et il en fit un corps de doctrine auquel il donna le nom de *géognosie* : restreignant ainsi aux

faits positifs, et à leurs conséquences immédiates, la science qui était désignée, depuis quelques années, sous le nom de *géologie*, et qui n'avait presque été, ainsi qu'on l'a déjà dit, qu'un tissu d'hypothèses hasardées sur la formation de l'univers.

Non-seulement Werner a créé cette nouvelle branche de l'histoire naturelle, car « c'est de lui, et de lui seulement que da-  
« tera la géologie positive, en ce qui con-  
« cerne la nature minérale des couches, » dit un juge bien compétent, M. Cuvier (1); mais encore il lui a imprimé, du haut de la chaire où il l'a professée pendant trente ans, l'étonnante impulsion qui lui a fait faire de si grands progrès dans ces dernières années. Il exposait sa doctrine avec un tel art, qu'il en pénétrait ses auditeurs jusqu'à l'enthousiasme; il savait inspirer non-seulement le goût, mais encore la passion de sa

---

(1) Discours préliminaire, contenant une esquisse des systèmes géologiques, et placé au commencement des *Recherches sur les ossements fossiles*.

science. C'est au sortir de ses leçons, et pleins de leur objet, qu'une foule de ses élèves, Freisleben, Mohs, Esmark, d'Andrada, Raumer, Engelhart, J. Charpentier, Brocchi, etc., se sont répandus dans toutes les parties de l'Europe, et qu'ils ont rempli les archives de la minéralogie de leurs nombreuses observations; que M. de Humboldt, bravant toute espèce de dangers, de peines et de privations, s'est enfoncé dans le Nouveau-Monde, et nous a ensuite étonnés par la multitude et par l'importance des résultats de ses recherches; que M. de Buch est allé parcourir la Norwège, l'Italie, les îles de l'Afrique, etc., d'où il a rapporté une si riche moisson de faits géognostiques. On peut dire de Werner ce qu'on a dit de Linné : la terre a été couverte de ses disciples, et, d'un pôle à l'autre, la nature a été interrogée au nom d'un seul homme.

J'ai eu l'avantage de suivre les leçons de ce grand maître, en 1800 et 1801; et leur objet m'en parut si intéressant et si neuf,

que je résolus dès-lors de le faire connaître dans ma patrie.

Les circonstances m'avaient mis dans la position la plus favorable pour bien connaître la doctrine de Werner. Pendant quatre années consécutives, ce savant illustre m'honora de soins particuliers ; dans de nombreux entretiens, il me dévoila en quelque sorte les principes de sa science, et il me traça la route à suivre dans les recherches qui peuvent conduire à une vraie géognosie. C'est en suivant ces principes, et après avoir tenu cette marche pendant vingt années de travaux et d'études, ayant un rapport direct ou indirect à des objets géognostiques, que je publie cet ouvrage (1).

Je ne le donne point comme présentant un corps de doctrine définitivement arrêté : au milieu des changements, pour ainsi dire journaliers, nécessités par les progrès rapides que fait la géognosie, je ne saurais avoir

---

(1) Ce discours, placé à la tête de la première édition de ce traité, a été écrit en 1819.

une telle prétention : je crois seulement avoir recueilli les faits géognostiques les plus importants de ceux qui nous sont connus , avoir exposé les faits généraux ou les résultats auxquels on croit être arrivé , et avoir établi ou développé les principes à suivre pour assurer les progrès de la science. Je me garderai bien encore de donner ces résultats et ces principes comme des vérités incontestables ; au contraire, j'appelle sur eux le doute et l'examen des savants ; persuadé que c'est surtout à la géognosie qu'on doit appliquer cette maxime de Descartes : Celui qui aspire à connaître la vérité doit, au moins une fois en sa vie, s'appliquer à douter de tout ce qu'on lui a appris.

Propager la vérité est ici mon unique objet, et je verrai avec satisfaction tout travail qui en établirait une, lors même qu'il entraînerait la ruine d'une des assertions que j'ai crues ou que je crois encore vraies. Ce n'est point le désir de soutenir ou d'accréditer un système qui m'a mis la plume à la main : je n'en adopte positivement aucun ;

et si, en traitant des masses et des couches minérales, je parais suivre quelquefois une hypothèse sur le mode de leur formation, c'est qu'une pareille manière de procéder m'a paru simple, propre à mieux représenter les faits et à mieux les lier entre eux ; à peu près comme les physiciens qui, sans être convaincus de l'existence du fluide magnétique, la supposent cependant, afin de mieux représenter ce qui se passe dans divers phénomènes du magnétisme. Ce mode d'assembler les faits tient d'ailleurs si peu au fond de mon ouvrage, que le géologiste qui lui en substituerait un entièrement différent, qui adopterait, par exemple, le système de Hutton ou de Herschell, aurait à peine quelques pages à réformer dans ce traité : les faits observés et leurs conséquences géognostiques resteraient toujours les mêmes.

Revenons à l'histoire des progrès de la géognosie, et après avoir dit ce que Werner avait fait pour cette science en Allemagne ;



jetons un coup d'œil sur ce qui se passait dans d'autres contrées.

En France, les écrits de Buffon, répandus dans toutes les classes des personnes instruites, y avaient porté le goût de l'histoire naturelle, et en particulier celui de la géologie. On se livra à son étude, et les travaux des savants français que nous avons déjà cités, ainsi que les ouvrages de MM. Patrin, Delamétherie, Ramond, etc., ajoutèrent sensiblement à nos idées et à nos connaissances sur la théorie et sur la constitution de la terre. Mais c'est à Dolomieu principalement que la géologie doit l'essor qu'elle a pris chez nous : naturaliste d'un talent supérieur, d'un goût décidé pour les voyages et les recherches géologiques, bon observateur, porté par les circonstances sur les volcans de l'Europe encore en activité, il en fit une étude particulière, et, le premier, il nous donna des notions positives sur leurs produits, et sur la nature des substances volcaniques en général. Les travaux de MM. Faujas, Fleuriau-de-Bellevue, Spallanzani,

Cordier et Beudant, ont ensuite répandu de nouvelles lumières sur cet objet. Les masses minérales étrangères au domaine des volcans, fixèrent aussi l'attention de Dolomieu, et quelques mémoires publiés à leur sujet prouvent la profonde connaissance qu'il avait de leur nature. Chargé de professer la géologie à l'école des mines, lui aussi sut en inspirer l'amour à ses disciples, et il guida les premiers pas de MM. Brochant, Cordier, Brongniart, de Bonnard, etc., dans la carrière qu'ils poursuivent aujourd'hui avec tant de distinction.

C'est encore en France que les recherches sur les débris des êtres organiques renfermés dans les couches de la terre, ont le plus puissamment contribué aux progrès de la géognosie. Werner avait bien signalé l'avantage de pareilles recherches, et il avait même tracé un plan d'après lequel elles devaient être faites; on devait une suite d'intéressantes observations sur les fossiles à MM. Blumenbach et de Schlottheim; mais ce sont les grands travaux de M. Cuvier qui ont

amené un nouvel ordre de choses, et qui forment, dans cette partie de la géologie, la plus brillante des époques. Portant l'œil du génie sur ces nombreux ossements épars et enfouis depuis des milliers d'années dans nos carrières, ce savant illustre les a rapprochés, réunis, et il a opéré, en quelque sorte, l'étonnante résurrection des êtres auxquels ils avaient appartenu. C'est aux nombreuses applications qu'il a faites à la géologie, de ses découvertes et de ses profondes connaissances dans l'anatomie comparée ; c'est à l'application que M. Brongniart a faite de la connaissance des fossiles aux terrains des environs de Paris ; c'est à la distinction principalement établie par ce naturaliste, et suivie par MM. Omalius d'Halloy, de Férussac, Beudant, Marcel de Serres, Boué, etc., entre les couches déposées dans le sein des mers, et celles formées dans les eaux douces, que l'histoire des couches secondaires doit un degré d'intérêt et même de certitude que n'a point celle des masses primitives. Les nombreux vestiges d'animaux de toutes les classes

qui se trouvent dans ces couches, y sont comme les témoins des époques où elles ont été formées, et ils sont quelquefois les indices des révolutions qui ont produit ou précédé ces formations. L'anatomie comparée, en nous apprenant, en quelque manière, à confronter ces divers témoins, en montrant les rapports de ces fossiles, tant entre eux qu'avec les êtres aujourd'hui existants, peut mettre en corrélation l'histoire des règnes inorganiques avec celle des règnes organiques, et elle peut finir par jeter quelque jour sur la nature de l'ancienne population du globe, ainsi que sur les changements qu'elle aurait peut-être subis.

Pendant que la géognosie faisait parmi nous de pareils progrès, on l'avait vue, avec quelque surprise, rester comme stationnaire en Angleterre, où tant d'hommes d'un haut mérite ont si efficacement contribué, dans ces derniers temps, à l'avancement des sciences physiques ; mais une marche aussi rapide qu'assurée, a porté aujourd'hui cette nation sur la même ligne que l'Allemagne et la

France, et c'est peut-être elle qui promet aujourd'hui à la science les succès les plus positifs. — Hutton avait publié à Édimbourg, à la fin du dernier siècle, un système géologique entièrement différent de ceux qui avaient paru jusqu'alors : soutenu et commenté par M. Playfair, mathématicien aussi distingué qu'éloquent écrivain, il fut généralement accueilli en Écosse et même en Angleterre. Les belles expériences de Hall, sur les effets de la chaleur appliquée à des corps soumis à une grande compression, semblaient lui donner un nouveau degré de probabilité, et il était dans sa plus grande faveur, lorsqu'un élève de l'école de Freyberg, M. Jameson, vint établir (1808), à Édimbourg même, sous les yeux de MM. Playfair et Hall, une réunion de naturalistes qui prit le nom de *Société wernérienne*. Les discussions s'engagèrent et s'échauffèrent entre les deux partis : le choc fut favorable à la connaissance de la vérité ; le nouvel institut, se tenant au mode d'observation tracé par Werner, et abandonnant ce qu'il

pouvait y avoir d'hypothétique dans la doctrine de ce grand maître, ne s'occupe plus que de la recherche des faits positifs. A peu près dans le même temps, et sur des principes encore plus étrangers, s'il est possible, à toute idée systématique, il s'est formé à Londres une *Société géologique* dont l'unique objet est d'encourager les recherches relatives à la connaissance de la structure minéralogique des diverses contrées de la terre : les Mémoires qu'elle a déjà publiés attestent et l'utilité de sa fondation et les succès de ses travaux. L'exemple de la capitale a été imité par les provinces, le pays de Cornouailles a aussi sa *Société géologique* particulière; et sur tous les points de l'empire britannique, les faits et les descriptions géognostiques se multiplient comme à l'envi.

Parmi ces travaux il en est un que son importance met au-dessus de tout ce qui a été encore publié dans ce genre, et bien qu'une œuvre mécanique en apparence, il a fait faire un grand pas à la science. M. William Schmidt, qui par ses recherches,

comme ingénieur des mines, avait acquis une profonde connaissance des masses minérales de l'Angleterre, qui les avait vues s'étendre, sous forme de couches à peu près parallèles, dans tout ce royaume, entreprit de représenter graphiquement l'ensemble résultant de leur disposition. Dès 1790 il fit connaître son dessein, et en 1815 il publia une belle carte géologique de la Grande-Bretagne, accompagnée de plusieurs cartes de détail et de quelques notices. Ce travail aussi intéressant par ses résultats, qu'il est réellement étonnant par son étendue, surtout lorsqu'on considère que c'est l'ouvrage d'un seul homme, livré à lui-même et soutenu par son seul génie; ce travail a mis l'auteur à même de conclure : que l'Angleterre est divisée en couches dont l'ordre de superposition n'est jamais interverti, et que ce sont exactement les mêmes fossiles qu'on trouve dans toutes les parties d'une même couche. — Des savants distingués ont ensuite corrigé les imperfections, et rempli les lacunes qu'un premier essai ne pouvait man-

quer de présenter : ils ont établi les rapports qui lient les couches de leur pays à celles de la France et de l'Allemagne, en faisant connaître, avec précision, les vestiges des êtres organiques qui les caractérisent; et, grâce aux travaux de MM. Schmidt, Conybeare, Buckland, Webster, Mac-Culloch, Greenough, Phillips, etc., l'Angleterre est aujourd'hui le pays de l'univers dont la constitution minérale est la mieux connue (1).

Quoiqu'en Italie les esprits, plus particulièrement enclins aux exercices de l'imagination, soient par suite plus portés à la géologie spéculative, cependant plusieurs des ouvrages qui ont paru dans cette partie de l'Europe, particulièrement ceux de Fortis, Spallanzani, Breislak et Brocchi, contiennent encore un grand nombre de documents précieux, notamment sur les terrains volcaniques.

---

(1) Cet *alinéa* est une addition faite au discours publié en 1819.



L'impulsion est donnée : de toutes parts on s'occupe avec ardeur de la géognosie ; elle est aujourd'hui l'objet des travaux de la plupart des naturalistes, et de l'attention de toutes les classes de savants ; tant les questions qu'elle traite présentent de l'intérêt, et ont même un attrait particulier pour notre esprit. Qu'on se rappelle qu'elles ont été le sujet des méditations des plus brillants génies qui aient honoré l'espèce humaine, et des savants du mérite le plus éminent : des Descartes, Leibnitz, Buffon, etc. ; des Linné, Bergmann, Lavoisier, Saussure, Laplace, Cuvier, etc.

Plus encore que toute autre branche des sciences naturelles, la géognosie tend à élever notre esprit, à agrandir nos idées ; plus que toute autre, elle fait sentir la supériorité et la dignité de l'histoire de la nature.

L'histoire civile, au milieu de ses horreurs, peut encore nous intéresser ; c'est l'histoire de nos semblables : le tableau des malheurs passés, en nous présageant ceux

que nous avons à craindre, peut indiquer à notre prudence les moyens de les prévenir, et il faut bien se résoudre à lire ses sanglantes annales. Mais que la vue des nations entières devenant à chaque instant la proie de quelques ambitieux fourbes ou féroces ; mais que les scènes où nous voyons si souvent l'innocence immolée et le crime triomphant, navrent et déchirent notre cœur ! Quel désordre, en outre, quelle discordance, quelle instabilité dans ce tissu de petitesse, de folies, de superstitions ! L'histoire de la nature nous offre un spectacle bien différent : ici tout est grand, tout est dans une harmonie et dans un ordre merveilleux ; partout on n'aperçoit que des vérités éternelles et des lois immuables ; ses tableaux sublimes élèvent notre esprit et n'affligent jamais notre ame ; toutes ses pages excitent l'intérêt du vrai philosophe et commandent son admiration. Le géologue, qui doit étudier et décrire le globe terrestre, les révolutions qu'il a éprouvées, les masses qui le composent, qui doit chercher à pénétrer le mys-

tère de leur formation, est plus particulièrement l'historien de la nature; il est comme le dépositaire de ses fastes, et en quelque sorte leur interprète.

La géognosie présente en outre des avantages, pour ainsi dire matériels, à l'homme en société.

Elle est le flambeau qui éclaire le mineur dans sa marche souterraine; c'est elle qui lui indique le degré de probabilité avec lequel il peut procéder à la recherche de tel métal, ou de tel combustible fossile, dans un terrain donné; c'est elle qui lui montre la route qu'il doit suivre pour retrouver un filon qu'il poursuivait et qu'il vient à perdre, etc.

La connaissance des grandes masses minérales, c'est-à-dire la géognosie, est utile à l'ingénieur chargé du tracé des routes et des canaux: il lui importe de bien connaître le terrain sur lequel il doit établir ses ouvrages, les circonstances de sa stratification, le plus ou moins de résistance qu'il peut opposer, soit à l'action délétère des éléments atmo-

sphériques, soit à l'action des forces comprimantes qui agiront sur lui.

Le géographe, qui doit faire connaître une contrée, son état physique, la configuration de sa surface, peut encore tirer de grands secours des connaissances géognostiques. La constitution minéralogique du sol exerce une influence sur la grandeur et la forme des montagnes, des collines, et par suite sur la quantité et la force des courants d'eau; elle est même en quelque rapport avec la terre végétale, et par conséquent avec les produits et la population d'un pays.

L'étude de la géognosie offre encore un attrait que je dois signaler, car il a contribué aussi à ses progrès. Non-seulement elle occupe l'esprit, mais elle exige encore une activité de corps qui plaît singulièrement, surtout aux jeunes observateurs; les obstacles qu'ils ont souvent à surmonter, les dangers même qu'ils ont quelquefois à affronter pour atteindre le but de leurs courses, excitent leur courage, et irritent leur amour-propre tout en le flattant. Saussure, se

croyant , en quelque sorte , défié par le Mont-Blanc , qui lui présentait tous les jours une cime qu'il avait plusieurs fois attaquée en vain , redoubla d'efforts , et c'est peut-être à ce désir ardent , je dirai même à cette passion de sortir triomphant d'une entreprise dans laquelle on s'est engagé (1) , que nous devons les belles observations que ce naturaliste a faites sur la plus haute des montagnes de l'Europe. Lorsqu'après bien des peines , et après avoir vaincu bien des difficultés , l'observateur , se trouvant enfin sur ces grandes hauteurs qui dominent toute une contrée , promène ses regards autour de lui , le spectacle le plus ravissant se déroule à sa vue : l'univers entier semble être à ses pieds ; les hommes et leurs monuments lui paraissent dans toute leur petitesse , et je dirai presque dans leur néant : son ame , participant à son élévation , se sentant au-dessus de toutes les petites passions , de tous les

---

(1) . . . . . : *Mene incepto desistere victum!*  
Virg. , *Æneid.* , lib. I.

petits intérêts qui meuvent le monde d'en bas, éprouve une des plus douces sensations dont elle soit susceptible. Ce n'est qu'à regret qu'il s'arrache à cette délicieuse jouissance, et ce n'est souvent que le désir d'en éprouver une semblable qui le ramène sur de nouveaux monts, et qui procure à la science de nouvelles observations.

Plein du désir de contribuer à l'avancement de cette science, me serait-il permis de présenter ici quelques réflexions à ceux qui veulent se livrer avec succès à son étude?

Je leur rappellerai d'abord, avec Werner, qu'il est diverses branches des sciences physiques dont la connaissance leur est absolument nécessaire.

Au premier rang nous mettrons l'*oryctognosie*, c'est-à-dire la partie de la minéralogie qui apprend à reconnaître les différents minéraux et à les bien distinguer les uns des autres : toutes les observations du géologiste qui ne la posséderait pas sont absolument incomplètes, et le plus souvent

insignifiantes. Lorsqu'il veut faire connaître la constitution d'un terrain, et tel est presque toujours l'objet de son travail, il a deux déterminations à faire : il doit d'abord assigner les substances minérales qui entrent dans cette constitution, et il doit indiquer ensuite la manière dont elles sont disposées : l'oryctognosie peut seule le mettre à même d'exécuter la première ; et ce n'est que lorsqu'elle est faite qu'il peut convenablement passer à la seconde. Que de naturalistes estimables ont consommé, sans presque aucun fruit, leurs peines et leur temps, pour s'être engagés dans des entreprises géognostiques sans une connaissance assez étendue de la minéralogie ! Le livre de la nature était ouvert devant eux, disaient-ils ; mais encore fallait-il connaître les caractères avec lesquels ce livre est écrit, et ces caractères sont ici les minéraux.

Il suffit de rappeler que la *physique* fait connaître les lois qui semblent régir la matière ; et surtout que, tenant continuellement sous nos yeux les phénomènes de la nature

et les causes qui les produisent, elle nous met à même de saisir et d'apprécier les rapports qu'il peut y avoir entre des effets que nous voyons, et les causes auxquelles nous sommes portés à les attribuer, pour faire sentir combien cette science est nécessaire à celui qui s'occupe des révolutions du globe terrestre, et qui cherche à rendre raison des changements que sa surface éprouve ou qu'elle a éprouvés.

Lorsque ce même observateur entre dans les détails de la formation des minéraux, il ne voit plus que précipitations, cristallisations et dissolutions; les forces qui ont produit les minéraux, qui en ont réuni et rassemblé les éléments, sont des forces d'affinité : il ne peut bien apprécier leurs effets, sans une connaissance approfondie de la *chimie générale*. Mais il lui faudra beaucoup de réserve et bien du discernement lorsqu'il voudra conclure de ce qui se fait dans nos laboratoires à ce qui se passe dans ceux de la nature : la nature agit sur des masses immenses; elle a le temps à sa disposition ,



il n'est rien pour elle; et ces deux circonstances suffiront souvent pour rendre entièrement dissemblables les effets d'un même agent et les produits d'une même cause. Nous ne pouvons pas, en outre, nous flatter de connaître tous les moyens que la nature emploie dans ses formations, et nous ne devons pas conclure qu'un effet lui est impossible, parce que nous n'avons encore pu le produire dans nos laboratoires, par exemple, qu'une substance est indécomposable, parce que nous n'avons pu encore la décomposer.

Les autres branches de l'histoire naturelle, et surtout la conchyliologie, sont encore d'une grande utilité au géologiste; elles lui font connaître cette multitude de coquilles, ces débris d'animaux et de végétaux qu'il trouve dans un grand nombre de couches du globe, et qui donnent tant de lumières sur les diverses époques et sur plusieurs autres circonstances de leur formation. Celui qui n'aurait pas ces notions, obligé sans cesse de recourir à d'autres naturalistes, serait arrêté

à chaque pas dans l'étude des terrains secondaires.

Aux diverses connaissances que nous venons d'indiquer, le géologiste doit joindre un esprit éminemment observateur, un esprit assez étendu pour saisir les rapports entre des faits souvent fort éloignés, mais susceptible en même temps de petits détails : Placé en quelque sorte, dit Werner, entre l'astronome qui, portant ses observations dans l'immensité des cieux, s'élève jusqu'à l'infiniment grand, et le naturaliste scrupuleux qui, armé d'un microscope et allant surprendre les secrets de la nature dans les organes d'une mite ou dans les lames d'un petit cristal, semble descendre jusqu'à l'infiniment petit ; à la grandeur et à l'étendue des vues du premier, il doit unir la sagacité et l'exactitude du second. En montrant ainsi ce que devait être le parfait géologiste, Werner ne pensait pas qu'il se peignait lui-même dans la plus exacte réalité.

Muni des connaissances nécessaires, doué des qualités requises, celui qui désire se

former à la géognosie, doit aller puiser dans l'observation directe de la nature sa principale instruction. Ce n'est qu'en étudiant les minéraux dans leur gîte natal qu'il peut être conduit à des notions raisonnables sur leur formation; ce n'est qu'en voyant de ses propres yeux les couches et les filons, qu'il peut se faire une idée exacte de leur forme, de leur structure, de leur disposition réciproque; ce n'est que lorsqu'il aura beaucoup vu et observé par lui-même, qu'il pourra bien apprécier les observations des autres, les soumettre à une juste critique, et en inférer des conséquences; c'est surtout à lui qu'il convient d'adresser la première leçon que Wallérius donnait à ses disciples en minéralogie, lorsqu'il leur recommandait d'aller, à pied et le marteau à la main, étudier et interroger la nature dans ses propres ateliers (1).

---

(1) *Ite, filii, emite calceos; montes accedite; valles, solitudines, littora maris, terras profundos sinus inquirite; mineralium ordines, proprietates, nascendi modos notate: tandem*

Au reste, c'est moins le nombre que l'exactitude des observations qui en fait le mérite; et malheureusement ici les observateurs ont trop souvent à lutter contre le penchant naturel à tous les hommes avides d'instruction : dès qu'en traversant un pays, de simples aperçus ont satisfait une première curiosité, ils veulent aller plus loin; difficilement se déterminent-ils à retourner sur leurs pas, pour voir et revoir le même objet sous toutes ses faces et dans tous ses détails; et cependant ce sont les observations de ce genre qui sont vraiment précieuses pour la science, celles qui assurent ses progrès et qu'elle conserve soigneusement dans ses archives. — Que le géologue, qui voudrait en faire de pareilles, entreprenne, par exemple, la description complète d'une contrée intéressante par sa nature minéralogique, mais de peu d'étendue : qu'il acquière une

---

*carbones emite, fornaces construite, et sine tadio coquite: ita enim ad corporum proprietatumque cognitionem pervenietis; alias non. Systema mineralogicum, Præfatio.*

première notion du terrain en le parcourant dans deux ou trois directions différentes, de manière à ce qu'il soit en état de bien faire le plan du travail à exécuter, et d'établir la série des questions à résoudre : qu'il retourne ensuite sur les lieux ; son intelligence et l'habitude d'observer lui indiqueront, soit d'après ce qu'il a déjà vu du pays, soit d'après ce qu'il verra en multipliant ses recherches, quels sont les points où il doit aller faire ses observations, et prendre ses données pour la solution des questions qu'il s'est proposées : il ne quittera le terrain qu'après qu'elles seront résolues ou qu'il se sera convaincu de l'impossibilité de les résoudre en tout ou en partie. Si je voulais faire ressortir, par un exemple, la supériorité de pareilles descriptions, et montrer en même temps la manière dont elles doivent être faites, je citerais celle que MM. Cuvier et Brongniart ont donnée du *terrain des environs de Paris*.

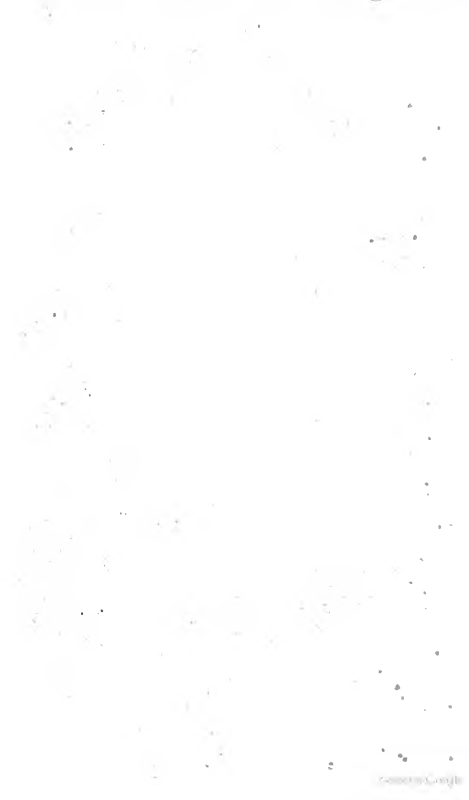
Il serait superflu de recommander à l'observateur de voir et de noter les faits tels

qu'ils sont dans la réalité, en se dépouillant de toute prévention et de tout désir de les faire rentrer dans une théorie systématique : un système n'est souvent qu'un verre coloré, qui, placé devant les yeux du naturaliste, altère ou change même la couleur des objets qu'il voit à travers.

Au reste, en voulant éloigner tout système aveuglément embrassé, en répétant encore que l'observation est la seule base de la géognosie, je n'en dirai pas moins que celui qui se livre à son étude ne doit pas se borner à constater et à rassembler des faits ; il faut encore, ainsi qu'on l'a déjà remarqué, qu'il les rapproche, afin d'en saisir les rapports et l'ensemble ; il faut qu'il les combine, pour en tirer des conséquences ; il faut même qu'il cherche à s'élever jusqu'à la connaissance de leurs causes : mais, dans ses travaux, il doit se rappeler continuellement que toutes les conclusions qu'il tire, tous les principes qu'il établit, ne doivent être que les conséquences des faits observés, et que toute hypothèse lui est interdite. Si

quelquefois le manque d'un nombre suffisant de données ne lui permet pas d'arriver à une solution rigoureuse, et qu'alors l'analogie et l'induction le portent à une conjecture, il se gardera bien de la présenter avec une réalité qu'elle n'a point, et d'en faire un des fondemens de sa doctrine. L'observation, les principes d'une saine physique, et les règles d'une exacte logique, voilà les seuls moyens qu'il lui est permis d'employer pour élever l'édifice de la science.

---





# TRAITÉ DE GÉOGNOSIE.



## INTRODUCTION.

§. 1. LA géognosie a pour objet principal la connaissance des masses minérales, ou plutôt des divers groupes, ou *systèmes de masses minérales*, dont l'ensemble compose la partie solide du globe terrestre. Elle considère la composition minéralogique, la structure, la forme et l'étendue de chacun de ces systèmes; elle traite de leur disposition réciproque, des circonstances de leur superposition les uns aux autres, et de leurs différents rapports entre eux : tout ce qui est relatif au mode et à l'époque de leur formation, aux changements ou dégradations qu'ils ont éprouvés, en un mot, tout ce qui tient à leur histoire naturelle est encore de son ressort; et puisque notre globe n'est formé que par leur assemblage, la connaissance de sa constitution, tant

Objet de la  
géognosie.

physique que minérale, sera le résultat final de la science dont nous allons traiter.

Au reste, nous n'entendons parler ici que de la partie du globe qui peut être l'objet direct de nos observations, et qui se borne à une mince écorce dont l'épaisseur n'est pas la millièrne partie du rayon terrestre (1) : tout ce qui se trouve au-dessous est et sera éternellement dérobé à nos recherches ; il n'en saurait être question dans cet ouvrage.

Étymologie. §. 2. Le mot *géognosie*, composé des deux mots grecs *γῆ* (*tellus*) et *γνώσις* (*cognitio*), signifie *connaissance de la terre*. La science que nous désignons par ce nom était autrefois comprise sous celui de *géologie*, dérivé des deux mots *γῆ* et *λόγος* (*sermo*) : mais comme ce dernier a une acception plus étendue et plus vague que *γνώσις*, et qu'effectivement la *géologie* de cette époque ne comprenait guère que des dissertations ou des théories sur la formation de la terre, nous avons cru devoir employer une expression plus précise pour désigner la nouvelle science ; et cette expression est maintenant adoptée, dans le sens que nous lui donnons, par la majeure partie des savans français.

Werner remarque, en outre, que les noms composés de *λόγος*, tels que *zoologie*, *minéralogie*, etc., désignent l'universalité de nos

---

(1) Voyez la note II, à la fin du volume.

connaissances sur un objet; et, d'après cela, la *géologie* comprend, selon lui, non-seulement la *géognosie*, mais encore la *géographie*, l'*hydrographie*, la *géogénie* (*telluris generatio*), etc. (1) Notre ouvrage est ainsi étranger aux systèmes de géogénie; mais il doit renfermer tous les faits que présente le globe et dont on pourrait déduire des conséquences géogéniques.

§. 5. Afin de donner une idée des matières que comprend la géognosie, telle que nous la considérons, nous allons jeter un coup d'œil sur les objets qui se présenteront successivement à notre examen dans la recherche de la constitution du globe. Cet aperçu nous fournira, en même temps, une occasion de faire connaître divers termes techniques que nous serons dans le cas d'employer dès les premiers chapitres.

Coup d'œil  
général sur  
l'ensemble  
de la géo-  
gnosie.

En considérant le globe dans son ensemble, et en fixant notre attention sur sa figure, nous trouverons qu'elle est exactement celle qu'aurait prise une masse fluide douée des mêmes mouvements que lui; et nous pressentirons déjà sa fluidité primitive. L'examen de divers phénomènes qu'il produira, en vertu de sa masse, nous portera à penser que cette fluidité a dû s'étendre bien avant dans son intérieur, et qu'en somme sa matière est à très-

---

(1) Voyez, note I, la définition de la géognosie, par Werner.

peu près également répartie autour de son centre. Ce sont les seules connaissances que nous pouvons espérer d'acquérir sur cet intérieur.

Nous verrons ensuite la masse solide du globe recouverte en partie d'une nappe d'eau et entièrement entourée d'une enveloppe atmosphérique : nous verrons l'eau s'élever, sous forme de vapeur, dans cette atmosphère, y produire des nuages, retomber en pluie, en rosée, etc., sur la surface de la terre ; y couler, s'y charger de diverses substances ; s'y réunir en ruisseaux, rivières, fleuves, qui la porteront dans un immense réservoir, où elle sera encore agitée de divers mouvements, et d'où elle sortira pour s'élever de nouveau et continuer perpétuellement cette circulation.

Si nous portons et promenons ensuite nos regards sur la surface du globe, nous serons frappés des *inégalités* qu'elle présente de tous côtés : ici, ce sont des *terres fermes*, ou des continents, qui s'élèvent au-dessus du niveau des eaux ; là, ce sont des *fonds de mer* qui s'enfoncent au-dessous de ce niveau. Les continents nous offrent, tantôt de grandes *régions basses* semblables à d'immenses plaines, tantôt des *régions élevées* et montueuses d'une étendue non moins considérable ; presque partout nous voyons une alternative continue d'élévations et d'enfoncements, de *montagnes*, de *collines*, et de *vallées* ou de *plaines*. Les mon-

agnes nous présentent, par la manière dont elles sont réunies et disposées entre elles, des *chaînes*, ou arêtes saillantes, diversement découpées, qui se prolongent à des distances plus ou moins considérables, qui se lient diversement les unes aux autres, et dont la forme, la structure et la direction paroissent astreintes à certaines lois générales.

L'aspect morcelé et comme déchiré que présentent les inégalités dont la surface du globe est hérissée; l'immense quantité de pierres roulées, de graviers et de sables qui proviennent de la destruction des roches, nous prouveront que la croûte du globe et les masses qui la composent ont éprouvé, depuis l'époque de leur formation, des dégradations et des changements considérables. Du moment que nous entreprendrons de rechercher quels sont les *agents* qui ont pu produire de pareils effets, nous devons porter notre attention sur ceux qui exercent encore une action sur les masses et couches minérales: ce n'est que de ce qui s'opère, que nous pouvons conclure, par induction, ce qui s'est opéré. En observant la superficie de la terre, nous la verrons continuellement en contact et, pour ainsi dire, aux prises avec les *fluides aériformes* et *aqueux* qui l'entourent de toutes parts: nous verrons l'action décomposante de ces fluides attaquer et détruire les roches les plus dures: nous verrons

l'eau, dans son passage continuel sur les continents, occupée sans relâche à les corroder, à les miner, à entraîner les molécules que la décomposition en a détachées, sillonner les parties élevées du globe, y creuser des ravins, des vallées, et concourir ainsi à donner à leur surface l'aspect qu'elle présente. — Ailleurs nous apercevrons des agents d'une tout autre espèce, les feux souterrains, avec les fluides et les vapeurs auxquels ils prêtent une si terrible force. Tantôt ils percent la croûte du globe et ils y forment des *volcans* ; des fleuves de matières minérales en fusion couvrent les contrées voisines d'une grande nappe de lave qui devient, dans la suite, une nouvelle couche minérale ; des nuées de cendres et des grêles de pierres y ajoutent de nouveaux produits : ces différentes matières, s'accumulant autour de la bouche volcanique, y élèvent des montagnes d'une hauteur quelquefois très-considérable. Tantôt les mêmes agents, contenus et comprimés dans les cavités souterraines, ébranlent, durant les accès de leurs convulsions, la surface du globe, et ils produisent des *tremblements de terre* qui occasionnent assez souvent des fentes, des crevasses, et quelquefois des affaissements à la superficie du sol.

Si, après avoir étudié le globe à sa surface, le géognoste descend dans son intérieur, il le trouvera formé de l'assemblage de diverses masses minérales : au premier aspect elles

lui paraîtront comme entassées et placées pêle-mêle sous toutes sortes de formes; mais un examen plus attentif lui fera voir que le désordre n'est qu'apparent, et que les divers matériaux de l'édifice qu'il considère sont disposés suivant un ordre déterminé. Il verra que les grandes masses minérales, ou *roches*, ont presque toujours une forme plate, très-étendue en surface, présentant l'image de grands bancs, lits ou *couches* superposées les unes aux autres. Il trouvera que les unes sont homogènes, c'est-à-dire composées d'un seul et même minéral, tandis que d'autres le sont de plusieurs minéraux différents et différemment disposés; et, encore ici, il verra un certain ordre, une certaine régularité dans cette disposition qui constitue la *structure des roches*. Quelques couches lui offriront une masse continue sans aucune division, au moins régulière; mais il verra que la plupart sont divisées, par des fentes ou des fissures parallèles à leur surface, en couches plus minces, et qu'elles sont ainsi *stratifiées*. Il en remarquera plusieurs qui se trouvent habituellement ensemble, qui alternent entre elles, engrènent, en quelque sorte, les unes dans les autres, et présentent ainsi des systèmes bien distincts, formés sans interruption d'une même manière et à une même époque: ce sont autant de *formations* différentes. Celles dans lesquelles une même roche

domine, composent un même *terrain* minéralogique, et c'est l'assemblage de ces diverses formations ou terrains qui constitue l'écorce minérale du globe.

En examinant les masses minérales, l'observateur sera étonné de la prodigieuse quantité de débris d'animaux et de végétaux qu'elles contiennent. Il se rappellera l'ordre dans lequel les êtres organiques sont répandus à la surface du globe : les uns ne sauraient vivre que dans le sein des mers ; d'autres dans les eaux douces ; quelques-uns ne se trouvent que dans la zone torride, tandis qu'il y en a qui périssent dès qu'on les transporte hors de la zone glaciale : en un mot, chaque espèce paraît comme fixée dans un élément et dans un climat qui lui sont propres. Dans les couches de la terre, tout sera déplacé : les vestiges des animaux qui ne peuvent exister qu'au fond de l'Océan, se trouveront empâtés dans les rochers qui forment la cime des montagnes ; les ossements de ceux qui ne peuvent vivre que sous la zone torride, seront enfouis dans le sol glacé des régions polaires. Presque partout il trouvera des restes d'animaux et de végétaux différents de ceux qui existent aujourd'hui, et il se croira transporté dans un nouveau monde. Tout lui indiquera que le lieu de son habitation a éprouvé de grands changements et de grandes révolutions. Les coquilles marines, incrustées et dis-



posées avec ordre dans la masse des montagnes, seront à ses yeux un témoignage irrécusable de l'ancien séjour des mers sur nos continents, et de la préexistence des animaux qui habitaient ces coquilles à celle des masses minérales qui les renferment : il sera évident à ses yeux que ces masses n'ont pas toujours été solides. — La figure de la terre ; la forme par couches, semblables à des sédiments, de la plupart des roches ; la nature cristalline du plus grand nombre des minéraux qui les composent, etc., le conduiront à une pareille conséquence,\* et le forceront à conclure que la matière de ces roches, couches, minéraux, etc., en un mot, que toute la croûte de la terre a été primitivement fluide, ou suspendue dans un fluide, et qu'elle s'est formée par une suite de dépôts ou de masses qui se sont successivement placés et moulés les uns sur les autres ; que chaque couche est un de ces dépôts ou masses, et que, par conséquent, les couches les plus inférieures sont aussi les plus anciennes. — En comparant ces diverses couches, ou les terrains qui résultent de leur assemblage, il remarquera que les plus anciens ne contiennent aucun vestige ou indice d'êtres organiques, et qu'ainsi ils ont été formés antérieurement à l'existence de ces êtres ; de là le nom de *terrains primitifs* : les substances qui les composent sont en général de structure cristalline. Ceux qui sont au-

dessus, les *secondaires*, renferment au contraire une grande quantité de débris de végétaux et d'animaux, notamment de testacés: on voit, parmi leurs couches, une multitude de brèches, de poudingues et de grès, qui sont principalement formés de fragments de roches primitives. Entre ces deux sortes de terrains, il observera des *terrains intermédiaires*, qui participent, jusqu'à un certain point, de la nature des primitifs, et qui, en même temps, renferment les premiers indices d'êtres organiques que l'on trouve dans le règne minéral. Immédiatement à la superficie du sol, et principalement dans les régions basses, il trouvera d'énormes bancs de galets, de graviers, de sables et de terres, matières sans cohérence, sans liaison, qui ne sont que des débris de roches, charriés et entassés par les eaux, et qui forment des *terrains d'alluvion* ou *de transport*. Au-dessous, il en verra d'autres renfermant, comme eux, des couches de matières meubles, mais qui alternent avec des couches pierreuses; ils se rapprochent ainsi des terrains secondaires, et présentent comme des *terrains tertiaires*. Enfin, le sol de quelques contrées, recouvert de matières lancées ou vomies par les volcans, appartiendra aux *terrains volcaniques*; et il arrivera peut-être quelquefois que ceux-ci entremêleront leurs masses avec celles des derniers terrains secondaires.

Après ces considérations générales sur le globe terrestre et sur les masses qui le composent, le géognoste passera aux détails relatifs à chaque espèce de terrains. Il examinera quels sont les minéraux qui les constituent, et ceux qu'ils renferment accidentellement ; quelles sont les couches hétérogènes que l'on y trouve d'ordinaire : il observera la forme, l'étendue, les circonstances de la stratification, celles de la superposition, le plus ou moins de facilité à se décomposer, etc., de chacune de ces masses.

Il arrivera enfin à l'examen des *gîtes de minéral*, systèmes particuliers de masses minérales, dans lesquels se trouvent habituellement les substances métalliques ou combustibles, objet des recherches du mineur. Ces gîtes sont, ou des *couches* intercalées entre des couches de nature différente ; ou des *filons*, c'est-à-dire, d'énormes plaques de matière minérale coupant les couches de la roche qui les contient ; ou des *amas*, c'est-à-dire, des masses dont les trois dimensions sont moins inégales entre elles que dans les couches ou les filons. Il étudiera leur forme, leur structure, la disposition de leurs parties métalliques par rapport à leurs gangues ou parties pierreuses, et leur manière d'être tant entre eux qu'à l'égard de la roche qui les renferme.

§. 4. L'aperçu rapide que nous venons de

Plan de cet ouvrage.

donner des différents objets qu'embrasse la géognosie, indique le contenu de cet ouvrage. L'ordre, dans lequel ils se sont présentés naturellement à l'observateur, a fixé la marche et le plan que nous avons suivis dans leur exposition et leur développement.

Nous diviserons ce traité en deux parties. La première comprendra les considérations générales sur le globe et sur les divers terrains : la matière de chacun de ses six chapitres est indiquée par chacun des six premiers alinéa de l'aperçu. La seconde partie renfermera les détails relatifs à chaque espèce de terrain et de gîte de minéral.



# PREMIÈRE PARTIE.

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE GLOBE TERRESTRE ET SUR LES MASSES MINÉRALES QUI LE COMPOSENT.

---

### CHAPITRE PREMIER.

#### DE LA FIGURE ET DE LA MASSE DU GLOBE TERRESTRE.

LA considération de la figure et de la masse de la terre est d'un grand intérêt en géologie, par les lumières qu'elle répand sur l'état primitif de notre planète et sur quelques points de sa constitution intérieure : c'est sous ce double rapport que nous allons traiter de cette figure et de cette masse.

#### ART. 1.<sup>er</sup> *Figure de la terre.*

De nombreux phénomènes avaient déjà, depuis long-temps, indiqué aux observateurs que la terre était ronde : les navigateurs, qui, en allant toujours dans la même direction, se retrouvaient au point dont ils étaient partis et qui avaient fait ainsi le tour du monde, mirent ce fait hors de tout doute, et ils lui imprimèrent le sceau de la certitude

physique. La sphère étant le plus simple des corps ronds, on pensa d'abord que le globe était parfaitement sphérique.

Figure  
dédnite des  
lois de l'é-  
quilibre des  
fluides.

§. 5. Cependant, s'il avait été fluide, comme plusieurs circonstances pouvaient le faire présumer, son mouvement de rotation aurait dû altérer sa sphéricité; et, en donnant une plus grande force centrifuge aux parties situées vers l'équateur, il aurait dû renfler le globe dans cette partie, et par conséquent l'aplatir aux pôles. Huyghens, après avoir découvert les lois des forces centrales, les fit servir à la détermination de cet aplatissement, et il le porta à  $\frac{1}{378}$ , c'est-à-dire que, d'après lui, le diamètre de l'équateur est à l'axe terrestre comme 578 à 577.

Voyons comment la théorie a pu conduire à un pareil résultat (1).

Tout corps qui décrit un cercle tend continuellement, ainsi que l'on sait, à se mouvoir suivant la tangente, et par conséquent à s'éloigner du centre. Cette tendance, ou *force centrifuge*, se mesure par la quantité dont le corps s'éloignerait réellement dans l'unité de temps, la seconde par exemple, si la force centripète, ou l'obstacle qui le retient autour du centre, cessait d'agir, et cette quantité est représentée par le sinus verse du petit arc décrit durant une seconde. Or, le rayon de l'équateur étant de 637685 $\frac{1}{2}$  mètres, et la terre mettant 23<sup>h</sup> 56' 4" à faire sa révolution autour de son axe, la force centrifuge d'un corps placé à l'équateur sera ex-

---

(1) Les objets imprimés en petits caractères, dans cet ouvrage, sont, en quelque sorte, des notes nécessaires à l'intelligence ou au développement du sujet, et que nous avons liées au texte pour ne pas en rompre la lecture par des renvois.

primée par 0,016953 mètres. Sous le même cercle, la *force centripète*, ou la gravité, fait parcourir, dans le même temps, 4,888 m. à un corps qui tombe : elle est donc 288,3 fois plus considérable que la force centrifuge ; Huyghens admettait 289. Cela posé, faisant abstraction du reste de la masse ; concevons deux colonnes ou filets de fluide se communiquant au centre du sphéroïde terrestre, et aboutissant l'un au pôle et l'autre à un point quelconque de l'équateur : la gravité sollicite chacune de leurs molécules à se porter vers le centre, et, pour qu'il y ait équilibre, il faut que la somme des sollicitations, dans un des filets, soit égale à celle dans l'autre. Il est évident que, si le sphéroïde était en repos, les deux filets, supposés de même matière, devraient être égaux en longueur pour que cet effet eût lieu ; mais il n'en est plus de même lors du mouvement de rotation : les parties du filet qui va au pôle, étant dans l'axe, restent immobiles, elles n'ont aucune force centrifuge, et elles pèsent comme précédemment vers le centre ; tandis que toutes les molécules du filet équatorial, décrivant un cercle, ont une force centrifuge qui est opposée à leur force centrale, et qui doit diminuer leur pesanteur. Lorsque plusieurs corps décrivent des cercles dans le même temps, leurs forces centrifuges sont proportionnelles aux rayons des cercles décrits ; par conséquent, celle de chaque molécule du filet équatorial sera proportionnelle à sa distance du centre du globe : toutes ces distances formant une progression arithmétique dont le premier terme est zéro, il en sera de même des forces centrifuges : de sorte que la force centrifuge moyenne du filet, celle qu'on peut lui supposer dans toute sa longueur, sera la moitié de celle que possède l'extrémité qui aboutit à l'équateur ; elle sera donc moitié de  $\frac{1}{289}$  (ou  $\frac{1}{288}$ ) de la gravité. Ainsi les molécules de ce filet, pesant  $\frac{1}{288}$  de moins que celles du filet polaire, ne peuvent leur faire équilibre, qu'autant qu'elles seront de  $\frac{1}{288}$  plus nombreuses, c'est-à-dire qu'autant que le filet qu'elles forment sera de  $\frac{1}{288}$  plus long que l'autre.

Pour que l'aplatissement indiqué par Huyghens pût être admis, il faudrait que l'action

de chaque molécule du globe fût dirigée vers le centre : or, du moment que le sphéroïde s'aplatit, en vertu du mouvement de rotation, il cesse d'en être ainsi; les directions de la gravité restent perpendiculaires à la surface du sphéroïde et ne coïncident plus au centre. Newton entreprit de résoudre la question, en ayant égard à cette circonstance; il supposa que la masse du globe était homogène en densité, et que sa figure, en s'aplatissant, devenait un ellipsoïde : d'après cela, et à l'aide de ses principes sur la gravitation universelle, il trouva l'aplatissement de  $\frac{1}{230}$ .

Maclaurin démontra ensuite la légitimité de la seconde des deux suppositions de Newton, l'ellipticité de la forme : quant à l'autre, celle de l'homogénéité, Clairault fit voir qu'elle était inadmissible. Il prouva que, si la terre était homogène, l'accroissement de la pesanteur, de l'équateur au pôle, devrait suivre le rapport inverse de la longueur des rayons, et par conséquent être de  $\frac{1}{230}$  : or, l'observation du pendule ayant appris qu'il était réellement de  $\frac{1}{185}$  (1), il s'en suit que la terre est plus dense dans son intérieur qu'à sa surface. Clairault démontra encore que l'aplatissement ne saurait être plus grand que dans le cas de l'homogénéité, et il établit cette belle proposition : que, dans toutes les

---

(1) Ou 0,0054. Laplace, *Mém. de l'Acad. des Sciences de l'Institut*, 1817, p. 162.



hypothèses sur la constitution du noyau qui peut être placé dans l'intérieur de la terre, la surface du globe supposée fluide doit prendre une figure telle que l'accroissement de la pesanteur, de l'équateur au pôle, ajouté à l'aplatissement, égale deux fois l'aplatissement pour le cas de l'homogénéité; ou, ce qui revient au même, égale les  $\frac{5}{2}$  du rapport de la force centrifuge à la gravité sous l'équateur (1). M. Laplace, qui a traité la question de la figure des planètes de la manière la plus générale, établit « que les limites de l'aplatissement de l'ellipsoïde sont  $\frac{5}{2}$  et  $\frac{1}{2}$  du rapport de la force centrifuge à la gravité sous l'équateur; la première limite étant relative à l'homogénéité de la masse, et la seconde se rapportant au cas où, les couches infiniment voisines du centre étant infiniment denses, toute la masse du sphéroïde peut être considérée comme étant réunie à ce point (2). » La première limite donne pour l'aplatissement  $\frac{1}{230}$ , résultat de Newton; et la seconde  $\frac{1}{578}$ , résultat de Huyghens. M. Laplace a d'ailleurs confirmé l'important théorème de Clairault, que l'aplatissement est égal à  $\frac{5}{2}$  du rapport de la force centrifuge à la gravité sous l'équateur, moins l'accroissement de la pesanteur de l'équateur au

(1) Clairault, *Théorie de la terre, déduite des lois de l'hydrostatique*, p. 246 et 296.

(2) *Exposition du système du monde*, liv. IV, ch. 8.

pôle. Cet aplatissement sera donc  $\frac{5}{21.88} - \frac{1}{188}$   
ou  $\frac{1}{393}$ .

Tel est le dernier mot de la théorie sur la figure de l'ellipsoïde terrestre, dans le cas où la terre eût été primitivement fluide, et douée de sa densité et de ses mouvemens actuels.

Figure réelle, d'après la mesure et l'observation.

§. 6. Comparons maintenant cette figure avec celle que le globe a réellement, et qui nous est indiquée par les mesures géodésiques, ainsi que par des observations astronomiques.

Si la terre est un ellipsoïde aplati, il suffira de mesurer, à différentes latitudes, et dans le sens du méridien, deux degrés pris à sa surface, pour conclure la grandeur de l'aplatissement (1).

A la fin du dix-septième siècle et au commencement du suivant, Ferner, Picard, Cassini et ensuite Lacaille, exécutèrent, en France, de pareilles mesures; mais, à cause de la petitesse de l'aplatissement, ces degrés, trop rapprochés, ne présentèrent que de très-petites différences, et comme elles se confondaient avec les erreurs de l'observation, on n'en put rien conclure de positif. On en tirait

---

(1) L'aplatissement est donné, avec une exactitude suffisante, par la formule

$$d - d'$$

$$3 d' (\sin^2 l - \sin^2 l')$$

$d$  et  $d'$  étant les deux degrés mesurés, et  $l$  et  $l'$  leur latitude respective.

des conséquences opposées; quelques savants en inféraient même que la terre était allongée et non aplatie vers les pôles. Pour mettre fin aux discussions qui, depuis trente ans, divisaient l'académie, et pour décider irrévocablement la question, il fallait prendre des degrés aussi éloignés que possible, et les mesurer avec une exactitude extrême. Cette considération porta trois academiciens, Bouguer, la Condamine et Godin, à se rendre sous l'équateur, et Maupertuis, avec quatre autres de ses confrères, alla sous le cercle polaire, pour y effectuer ces mesures. Le travail des premiers donna pour longueur du degré 56753 toises, ou plutôt 56735, avec les corrections que les astronomes, et en particulier M. Delambre, ont cru devoir y faire. Quant au degré du cercle polaire, soit erreur d'observation, soit que les circonstances locales eussent été défavorables, il n'a pas inspiré la même confiance : remesuré, dans ces derniers temps, par des savants suédois, il s'est trouvé de 57193 toises, sous une latitude moyenne de  $66^{\circ} 20'$ . Étant notablement plus long que celui de l'équateur, il a mis hors de tout doute l'aplatissement de la terre, et son excès de longueur a indiqué  $\frac{1}{31}$  pour grandeur de cet aplatissement.

De semblables mesures ont été effectuées en plusieurs autres lieux : leur résultat, ainsi que l'aplatissement déduit de leur compari-

son avec le degré de l'équateur, est porté au tableau suivant.

| OBSERVATEUR.   | LIEU.          | LATITUDE. | LONGUEUR<br>DU DEGRÉ. | APLATISSE-<br>MENT. |
|----------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------|
| Bouguer.       | Pérou.         | 0° 0'     | 56735                 |                     |
| Lambton.       | Inde.          | 9 35      | 56740                 |                     |
| Boscovich.     | Italie.        | 45 0      | 56979                 | $\frac{1}{324}$     |
| Delambre, etc. | France.        | 45 4      | 57011                 | $\frac{1}{309}$     |
| Lacaille.      | France.        | 49 23     | 57074                 | $\frac{1}{298}$     |
| Mudge.         | Angleterre.    | 52 2      | 57071                 | $\frac{1}{315}$     |
| Swanberg.      | Laponie.       | 66 20     | 57193                 | $\frac{1}{312}$     |
| Masson.        | Pensylvanie.   | 39 12     | 56888                 | $\frac{1}{443}$     |
| Lacaille.      | Cap de B. Esp. | 33 18     | 57040                 | $\frac{1}{169}$     |

Toutes ces mesures n'inspirent pas la même confiance. Nous bornant à celles qui ont été faites, depuis vingt-cinq ans, avec tous les moyens, soins et instruments que comporte l'état actuel de la science et de l'art, c'est-à-dire, à celles de l'Inde, de la France, l'Angleterre et l'Italie, et, comparant les trois dernières avec la première, nous avons les trois aplatissements  $\frac{1}{324}$ ,  $\frac{1}{309}$ ,  $\frac{1}{315}$ . Ce dernier, étant donné par les deux stations les plus éloignées, semble devoir être adopté de préférence; d'autant plus que M. Kater, ayant diversement combiné les quatre mesures dont nous venons de parler, en a déduit  $\frac{1}{305.3}$  comme terme moyen (1). Ainsi, l'aplatissement  $\frac{1}{305}$  peut être

(1) *Bibliothèque universelle*, t. 17.

regardé comme le résultat général des meilleures opérations géodésiques faites jusqu'à ce jour.

La mesure d'Italie devrait être répétée. Celle de Pensylvanie, faite à la chaîne seulement, présente un résultat trop anomal pour qu'on doive en tirer aucune conséquence avant sa vérification. Le fort aplatissement indiqué par l'opération du Cap de Bonne-Espérance, peut bien n'être dû qu'à quelque circonstance locale; et il seroit prématuré de conclure de ce seul fait, que l'hémisphère austral est plus aplati que l'hémisphère boréal.

Au reste, les anomalies que présentent, sous le rapport de l'aplatissement, les diverses mesures géodésiques, même celles qui ont été faites dans ces derniers temps avec des soins extraordinaires, peuvent provenir en partie des erreurs de l'observation : avec les meilleurs instruments on ne saurait répondre d'une, deux, trois et même quatre secondes, dans la détermination de la latitude d'un lieu, et par conséquent dans la longueur d'un arc mesuré. De plus, des attractions locales, provenant de l'inégale répartition de la masse terrestre aux environs du lieu où l'on opère, peuvent avoir dévié le fil à plomb ou le niveau, et avoir occasionné encore une erreur dans cette même détermination, de sorte qu'il serait bien possible que les arcs cités appartenissent réellement à une ellipse aplatie de  $\frac{1}{504}$ .

Cependant, lorsqu'on voit les diverses parties de l'arc dernièrement mesuré en France, comparées entre elles, indiquer un aplatissement de  $\frac{1}{180}$ , tandis que la comparaison de leur ensemble avec le degré de l'équateur indique  $\frac{1}{309}$ , et  $\frac{1}{317}$  avec le degré de Laponie; lorsqu'on voit deux degrés consécutifs mesurés par M. Mudge présenter une différence de 216 mètres en moins, tandis qu'on aurait dû en avoir une de 33 en plus; lorsqu'on voit les opérations d'un aussi habile observateur que Lacaille donner jusqu'à  $\frac{2}{169}$  d'aplatissement etc., il est bien difficile de croire que tous les méridiens terrestres soient des ellipses parfaites et égales, c'est-à-dire que la terre soit un solide de révolution par-

fait : les grandes inégalités de sa surface, la différente densité des parties qui la recouvrent, et les irrégularités du contour et de la profondeur des mers, doivent certainement altérer cette forme.

Toutefois, ces altérations ne sauraient être que dans les détails; et M. Laplace, après les avoir prises en considération, n'en conclut pas moins que la surface du sphéroïde terrestre est à très-peu près elliptique.

Les observations astronomiques déposent, en outre, en faveur de cette forme et de sa régularité : et les inégalités du mouvement de la lune, tant en longitude qu'en latitude, donnent encore à M. Laplace  $\frac{1}{315}$  pour l'aplatissement du sphéroïde (*Mécanique céleste*), résultat égal à celui des mesures géodésiques.

Consé-  
quence : la  
terre a été  
fluide.

§. 7. Or nous avons vu que  $\frac{1}{315}$  est précisément l'aplatissement indiqué par les lois de l'hydrostatique, c'est-à-dire que la terre a exactement la même figure qu'elle devrait avoir si elle eût été originairement fluide. Par quel singulier hasard, si elle avait été toujours solide, aurait-elle eu une forme si extraordinaire, qui est une suite nécessaire des propriétés des fluides, et qui leur paraît exclusivement propre? Elle s'est pliée à cette forme singulière; et, pour qu'elle ait pu le faire, il a fallu, de toute nécessité, que, dans l'origine, ses molécules aient été indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire qu'elles aient formé une masse fluide.

Nous retrouvons une figure semblable dans les autres planètes; et, abstraction faite de

quelques irrégularités dues à des causes particulières, leur aplatissement est d'autant plus considérable que leur mouvement de rotation est plus rapide ; ainsi que cela doit être, d'après les lois de l'équilibre des fluides. Jupiter, par exemple, qui fait une révolution sur son axe en  $9^h 56'$ , présente un aplatissement de  $\frac{1}{14}$  ; il en est à peu près de même de Saturne : preuve manifeste que l'aplatissement des planètes est un effet de leur mouvement de rotation, et par conséquent que *les planètes ont été originairement fluides, au moins à leur surface.*

La nature et la disposition des substances qui forment l'écorce de la terre, nous fournissent en outre des preuves directes de sa fluidité primitive (1).

De plus, des observations d'un autre genre indiquent que cette fluidité s'est étendue bien avant dans l'intérieur du globe, et vraisemblablement jusqu'au centre. Les phénomènes de la pesanteur observés à la surface portent M. Laplace à conclure que le sphéroïde terrestre est formé de couches concentriques à très-peu près elliptiques, et disposées symétriquement autour du centre de gravité : « Une telle disposition, dit ce savant, ne peut exister que dans le cas où la terre entière a été primitivement fluide. »

---

(1) Voyez note III.

ART. 2. *Masse de la terre.*

La masse d'un corps étant le produit de son volume par sa densité, nous aurons ici à déterminer le volume ou, en général, la grandeur du sphéroïde terrestre, et sa densité.

Grandeur  
de la terre.

§. 8. Les mêmes mesures qui nous ont fait connaître la figure du globe terrestre, nous instruisent encore de sa grandeur.

La plus considérable et vraisemblablement la plus exacte est celle qui a été effectuée, dans ces derniers temps, par MM. Delambre, Méchain, Arago et Biot, pour déterminer le *mètre*, base de tout le système de poids et mesures prescrit par nos lois. Les deux premiers de ces quatre académiciens français ont mesuré l'arc de méridien depuis Dunkerque jusqu'à Barcelonne; les deux autres ont ensuite prolongé cette mesure jusqu'à la petite île de Formentera dans la Méditerranée; enfin, à l'aide d'un travail géodésique du général anglais Roy, on l'a poussée au Nord jusqu'au parallèle de Greenwich: l'on a eü ainsi un arc de  $12^{\circ} 48' 44''$ ,<sup>1</sup>, dont le milieu correspond à la latitude moyenne de  $45^{\circ} 4' 18''$ , et dont la longueur a été trouvée de 750431,3 toises. D'où l'on conclut que le quart de méridien compris entre le pôle et l'équateur est de 5130905 toises, ou de 10000321 mètres légaux (1).

(1) Un premier travail sur la mesure faite par Delambre et Méchain, comparée avec celle de Bouguer, avait porté la commis-



D'après cette donnée, et en admettant toujours l'aplatissement de  $\frac{36}{5}$ , je trouve pour les principales dimensions de l'ellipsoïde terrestre :

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Rayon de l'équateur . . . . .      | 6376851 mètres.        |
| Demi-axe terrestre . . . . .       | 6355943                |
| Différence ou aplatissement . . .  | 20908                  |
| Rayon à 45° de latitude (1) . . .  | 6366407                |
| Degré à cette même latitude . . .  | 111115                 |
| Degré de long. à 45° de latitude . | 78828                  |
| Surface du sphéroïde . . . . .     | 5098857 myr. carrés.   |
| Volume . . . . .                   | 1082634000 myr. cubes. |

### §. 9. Passons à la densité.

Densité de la terre.

sion des savants français et étrangers assemblés, à Paris, en 1799, pour la détermination du mètre, à donner au quart du méridien 5130740 toises (en prenant la toise employée dans la mesure de l'arc du Pérou); et ce fut la dix-millionième partie de cette quantité qui fut reconnue et déclarée le *mètre*, lequel se trouva ainsi de 0,5130740 toises, ou 443,296 lignes. Des étalons de cette grandeur furent déposés aux archives nationales et à l'observatoire de Paris : ils représentent le *mètre légal*.

Depuis, Delambre revisa la mesure faite par Bouguer; il en conclut un aplatissement de 0,00324 ( $\frac{1}{307}$ ), et il eut 5131111 toises pour le quart du méridien : sa dix-millionième partie, ou le mètre, fut ainsi de 443,328 lignes. Enfin, le résultat définitif des opérations géodésiques, qui donne 5130905 toises pour le quart de méridien, donne 443,310 lignes pour la longueur du mètre. (Voyez *Base du système métrique*, tom. III, p. 138 et 546; *Astronomie* de Delambre, tom. III, p. 568.) Ainsi, le mètre légal ne seroit plus la dix-millionième partie du quart de méridien; mais il n'en différerait que d'en 71.<sup>e</sup> de ligne, quantité presque imperceptible.

(1) Le rayon du sphéroïde, à une latitude quelconque  $l$ , est donné, en mètres, par la formule

$$6366407 (1 + 0,0016448 \cos. 2l - 0,000004 \cos. 4l);$$

le degré de latitude l'est par la formule

$$111115 - 547 \cos. 2l + 1 \cos. 4l;$$

et le degré de longitude par

$$111297 \cos. l (1 + 0,003279 \sin.^2 l + 0,000011 \sin.^4 l).$$

On a déjà vu que la grandeur de l'aplatissement montre qu'elle est plus considérable dans l'intérieur que vers la surface du globe ; et plusieurs autres phénomènes confirment ce fait. « La précession des équinoxes et la « nutation de l'axe terrestre, dit M. Laplace ,  
« indiquent une diminution dans la densité  
« des couches du sphéroïde, depuis le cen-  
« tre jusqu'à la surface, sans cependant nous  
« instruire de la véritable loi de cette dimi-  
« nution.... La mer est dans un état stable  
« d'équilibre, et cette stabilité cesserait d'a-  
« voir lieu, si la moyenne densité de la mer  
« surpassait celle de la terre. Enfin les prin-  
« cipes de l'hydrostatique exigent que, si la  
« terre a été primitivement fluide, les parties  
« voisines du centre soient en même temps  
« les plus denses. »

Cette dernière assertion n'est toutefois applicable qu'aux parties du globe qui ont été fluides en même temps ; et peut-être en est-il réellement ainsi de l'intérieur. Mais dans la partie extérieure, dans cette mince écorce, objet des observations du minéralogiste, et qui est formée de masses ou couches qui étaient déjà consolidées lorsqu'elles ont été recouvertes d'autres masses ou couches, celles-ci peuvent très-bien être et elles sont souvent d'une densité supérieure aux substances qui les supportent : c'est ainsi qu'on voit des couches de plomb sulfuré placées sur des couches calcaires, quoique les premières pèsent quatre fois plus que les secondes.

Les lois que suit la pesanteur à la surface du globe, portent M. Laplace à penser que

l'augmentation de densité est progressive à mesure qu'on s'enfonce, au moins jusqu'à une grande profondeur, à deux ou trois cents lieues, par exemple. En supposant qu'elle s'étende jusqu'au centre du globe et en progression arithmétique, il trouve que la densité moyenne du sphéroïde est 1,55, celle de la surface solide étant 1. Ce résultat paraît un peu faible.

Au reste, on peut déterminer directement cette densité moyenne, et sans avoir recours à aucune hypothèse. Il suffit de comparer les phénomènes dans lesquels le globe terrestre agit en raison de sa masse, tels sont ceux de l'attraction, avec des phénomènes de même nature produits par des corps dont la masse nous est connue.

Les montagnes isolées et d'un volume considérable peuvent fournir, jusqu'à un certain point, ce terme de comparaison. Bouguer, dans ses opérations géodésiques au Pérou, s'aperçut que le Chimborazo déviait le fil à plomb de ses instruments de  $7\frac{1}{2}$  secondes; mais, cette montagne étant volcanique, il pensa qu'elle pouvait être creuse, et il n'osa tirer de ce fait aucune conséquence sur la densité du globe. En 1774, Maskeline reprit cet objet, et il chercha à obtenir une détermination aussi précise que possible : il fit, avec le plus grand soin, une suite d'observations au pied du mont Shehallien, en Écosse,

de deux côtés diamétralement opposés, et quoique la montagne n'eût que 630 mètres de hauteur, les observations n'en indiquèrent pas moins une déviation de 5", 8; d'où Maskeline conclut que le globe a une densité 4,5 fois plus considérable que l'eau. Playfair, après un nouvel examen de la nature minéralogique de la montagne, porte ce nombre à 4,7. (*Bibliothèque universelle.*)

Cavendish a cherché à déterminer cette même densité, mais sans sortir de son cabinet, et par un moyen très-ingénieux. Il a pris une balance de torsion extrêmement sensible, analogue à celle imaginée par Coulomb, et, en présentant de grosses boules de plomb aux deux extrémités du bras de cette balance, il est parvenu à déterminer leur action attractive : il l'a ensuite comparée à celle de la terre. Vingt-trois expériences, faites avec un soin et des précautions extraordinaires, lui ont indiqué, pour le globe, une densité de 5,48, celle de l'eau étant 1; les plus grandes différences ne se sont élevées qu'à 0,07. (*Transact. phil.*, 1798.)

Ces diverses déterminations semblent nous autoriser à conclure que la *densité moyenne du globe terrestre est environ cinq fois plus grande que celle de l'eau, et par conséquent presque double de celle de l'écorce minérale de ce globe.*

La note IV, en donnant un aperçu des mouvements de la

terre et de ses rapports avec les autres corps du système planétaire, complétera les notions de cosmologie, relatives à notre globe, qui peuvent être directement ou indirectement de quelque intérêt pour le géologue.

## CHAPITRE II.

### DES FLUIDES QUI ENTOURENT LA MASSE SOLIDE DU GLOBE.

AVANT de passer aux considérations sur la nature et la disposition de la masse solide du globe, objet principal de cet ouvrage, jetons un coup d'œil sur l'enveloppe de substances aériformes et aqueuses qui entoure cette masse. Ces substances intéressent particulièrement le géognoste, par le rôle qu'elles jouent dans l'histoire des dégradations que les couches minérales éprouvent journellement et qu'elles ont déjà éprouvées.

#### ART. 1.<sup>er</sup> *De l'atmosphère.*

§. 10. L'enveloppe aériforme du globe, ou Sa composition. l'atmosphère, est principalement composée d'air atmosphérique; elle contient encore, mais en très-petite quantité, quelques autres matières gazeuses, et elle sert de réceptacle aux vapeurs qui s'élèvent de la terre.

L'air atmosphérique lui-même est un composé de gaz oxygène et de gaz azote, à peu près dans le rapport d'un à quatre (21 à 79)

en volume, auxquels se joignent trois millièmes environ de gaz acide carbonique. Cette proportion a été trouvée constamment la même, dans toutes les saisons, à toutes les latitudes et à toutes les hauteurs que l'on a atteintes : M. Gay-Lussac, s'étant élevé à sept mille mètres, y a pris de l'air, qui lui a donné, par une analyse très-exacte, les mêmes résultats que celui qu'il avait recueilli au milieu de Paris.

Quant à la vapeur aqueuse, elle est dans l'atmosphère en quantité très-variable. Elle y augmente en général avec la température du climat et de la saison : sous les tropiques, elle fait souvent plus des 30 millièmes, en volume, de la portion de l'atmosphère qui la contient ; dans nos latitudes moyennes et à une petite élévation, elle en fait les 15, 16 ou 17 millièmes en été, et les 5, 6 ou 7 millièmes en hiver (1). Elle diminue en outre à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, et M. Gay-Lussac en a trouvé à peine un millième à une hauteur de sept mille mètres.

Nous renvoyons entièrement aux traités

---

(1) A Paris, au degré moyen du thermomètre (11°) et de l'hygromètre (82°), la quantité de vapeur serait les 8,6 millièmes de l'air en volume, les 5,4 en poids, et de 6,7 grammes par mètre cube : si cette vapeur n'était pas gênée, pour sa libre répartition dans l'atmosphère, par l'air interposé, et qu'elle vint à se précipiter en entier, elle produirait une lame d'eau de près de 9 centimètres (3½ pouces) d'épaisseur. Voyez des détails sur la vapeur répandue dans l'atmosphère, *Note V*.

de physique et de chimie pour ce qui concerne les diverses propriétés des vapeurs et des gaz, et nous nous bornerons à rappeler, 1.<sup>o</sup> qu'à zéro du thermomètre, et sous une pression barométrique de 76 centimètres, l'air sec pèse 1300 grammes par mètre cube (1), et par conséquent 770 fois moins que l'eau, ou 800 fois moins à 10° du thermomètre; 2.<sup>o</sup> que, dans nos latitudes moyennes, une colonne de l'atmosphère, comptée du niveau de la mer, pèse autant qu'une colonne de mercure de 762 millimètres de longueur, à zéro de température (2).

§. 11. D'après ce dernier fait, et en observant que l'air pèse 10440 fois moins que le mercure sous 762 millimètres de pression barométrique, on trouve que, si l'atmosphère avait, dans toute son étendue, la même densité qu'au niveau de la mer, sa hauteur serait de 7955 mètres. Mais, comme cette densité décroît à mesure qu'on s'élève, la hauteur réelle est beaucoup plus considé-

Hauteur  
de l'atmos-  
phère.

(1) De nombreuses expériences de M. Théodore de Saussure indiquent 1293 grammes.

(2) La moyenne des hauteurs du baromètre, prises à l'observatoire de Paris, à midi, dans les sept dernières années (1816-1822) est de 0,75566 mètres; et, d'après M. Delcros, ce baromètre est à 71,46 mètres au-dessus de la mer. De ces données, et en admettant une température moyenne de 12°, on conclut 0,76215 mètres pour la hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer.

Les observations faites directement par Shuckburgh donnent 30,04 pouces anglais à 55° Fahrenheit, ou 0,76125 à 0° du thermomètre ordinaire.

nable. En rigueur mathématique, elle serait infinie, puisque le décroissement de densité se fait en progression géométrique : cependant il est vraisemblable que l'air, au-delà d'un certain terme, n'est plus susceptible de dilatation, et, par conséquent, que la hauteur de l'atmosphère a une limite. Elle nous est inconnue, et nous savons seulement, par les phénomènes du crépuscule, qu'à une élévation de soixante mille mètres, l'air a encore une densité assez considérable pour réfléchir sur la surface de la terre la lumière du soleil.

Mouvements  
de l'atmos-  
phère.

§. 12. L'atmosphère est bien rarement dans un état de repos complet; presque toujours quelques-unes de ses portions se meuvent dans une direction plus ou moins constante, et forment ainsi des courants d'air : ce sont les *vents*. Ils sont *irréguliers* ou *réguliers*. Ces derniers sont ceux qui se présentent dans certains lieux et à certaines époques, avec une direction déterminée; tels sont les *vents alisés*, les *moussons*, les *vents de terre et de mer* : ils sont connus de tous mes lecteurs, et il serait superflu d'en donner même la définition; quant aux détails qui les concernent et aux causes qui les produisent, ils sont entièrement du ressort de la géographie et de la physique. Nous n'avons également rien à dire ici sur les vents irréguliers, et nous nous bornerons à remarquer que leur vitesse



est déjà très-considérable, et qu'elle produit un vent très-fort, lorsqu'elle est de dix mètres par seconde (huit lieues par heure); mais, dans des ouragans, on l'a vue de vingt et même de trente.

J'observerai ici que, dans quelques vallées, en certaines saisons et à certaines heures, il s'établit des courants d'air qui, par leur périodicité, leur direction, et vraisemblablement par leur cause, ont beaucoup d'analogie avec les vents de terre et de mer : c'est ainsi que, dans la vallée d'Aoste, les jours d'été, lorsque la chaleur du soleil est forte, il s'élève, vers neuf à dix heures du matin, un courant qui remonte la vallée et qui dure jusque vers le soir. J'ai fait connaître ce fait dans ma description physique et minéralogique de cette vallée (1).

§. 15. L'atmosphère présente encore un *Météorites*, phénomène bien remarquable et que nous ne devons point passer ici sous silence : il vient, dans ces derniers temps, de fixer d'une manière particulière l'attention des physiciens, et il est bien fait pour captiver celle des géologues; je parle de l'apparition des pierres connues sous le nom de *météorites*, qu'on voit quelquefois paraître dans les airs et tomber sur la terre. Je me borne ici à mentionner le fait, et je renvoie à la *note VI* les détails qui le concernent.

Nous parlerons des phénomènes dépendants de la température de l'air, tel est celui de la limite des neiges permanentes, dans la *Notice sur la température de la terre*, à la fin de ce volume, *note XII*.

---

(1) *Journal des mines*, tom. 29.

ART. 2. *De l'eau sur le globe.*

De tous les fluides qui entourent notre planète, il n'y en a point qui exerce une action plus sensible sur sa superficie que l'eau. Examinons les divers états dans lesquels elle s'y trouve, et les différentes circonstances de sa circulation : nous la considérerons à cet effet, 1.<sup>o</sup> dans la mer, 2.<sup>o</sup> dans l'atmosphère, 3.<sup>o</sup> coulant sur la terre ferme. \*

a) *De l'eau dans la mer.*

Étendue,  
profondeur  
et permanence de la  
mer.

§. 14. La mer présente une surface qui est presque les trois quarts de celle du globe.

Sa profondeur varie considérablement d'un lieu à un autre : dans quelques endroits, des sondes de 1500 mètres n'ont pu en atteindre le fond ; mais de pareils exemples sont rares, et en comparant la partie de la terre qui s'élève au-dessus du niveau de l'Océan avec celle qui en fait le fond, l'analogie ne permet guère de croire qu'il y ait des profondeurs de plus de trois à quatre mille mètres. M. Laplace a d'ailleurs démontré que la profondeur moyenne de la mer n'était qu'une petite fraction de la différence des deux axes de la terre, et cette différence n'est pas de vingt-un mille mètres (1).

Son niveau se maintient à la même hauteur

---

(1) *Mémoires de l'Institut*, 1817.

depuis des siècles, ou du moins il n'a pas varié d'une manière sensible. Cependant l'évaporation lui enlève annuellement une couche d'eau de près d'un mètre d'épaisseur, ainsi que nous le verrons bientôt : il faut donc qu'elle reçoive des pluies et des fleuves une égale quantité d'eau, et qu'en dernier résultat il rentre dans son sein à peu près tout ce qui en était sorti.

Les eaux de la mer présentent divers mouvements, dont les uns sont généraux, et les autres sont particuliers à certains parages; ce sont les *courants*. Il ne saurait être question ici des mouvements, en quelque sorte accidentels et momentanés, occasionés par les vents irréguliers et les ouragans.

§. 15. Les mouvements généraux sont : Mouvements  
généraux.

1.° Le *flux* et le *reflux*, produits par l'action attractive de la lune et du soleil, qui élève et abaisse alternativement, deux fois par jour, les eaux de l'Océan. La différence de niveau entre la plus grande élévation et le plus grand abaissement, dans deux oscillations ou marées consécutives, est la *marée totale*. Sa grandeur varie suivant les localités et les circonstances; elle est quelquefois de plus de douze mètres à Saint-Malo, et elle est à peine d'un pied au milieu de la mer Pacifique. L'action attractive du soleil et celle de la lune, causes du phénomène, coïncidant dans les sysigies, la marée doit être

Mouvements  
de la  
mer.

la plus forte à cette époque ; par suite, elle doit être la plus faible dans les quadratures : à Brest, elle est de 5,9 mètres dans le premier cas, et de 2,8 dans le second.

2.<sup>o</sup> Le mouvement général d'orient en occident, qui règne dans la zone torride : c'est le *grand courant équatorial*. Il a été particulièrement reconnu depuis la mer des Indes jusqu'au golfe du Mexique : sa largeur varie considérablement ; aux environs de Sainte-Hélène, elle va, dit-on, jusqu'à quatre cents lieues. Sa vitesse éprouve de pareilles variations : ainsi elle n'est guère que de deux mille mètres par heure au cap de Bonne-Espérance, tandis qu'elle est de six mille sous la ligne, dans l'Océan atlantique, d'après le major Rennel. D'Alembert attribuait ce mouvement au soleil et à la lune, qui, en s'avancant vers l'occident, attiraient, soulevaient et traînaient en quelque sorte, à leur suite, les eaux de l'Océan. Mais M. Laplace a fait voir que la force attractive de ces astres ne peut produire, ni dans les mers, ni dans l'atmosphère, aucun courant constant ; et cet illustre géomètre attribue sa cause à l'action des vents alisés qui soufflent d'orient en occident, et qui règnent constamment dans la zone torride.

Mouvements  
particuliers  
ou courants.

§. 16. Les mers présentent en outre un grand nombre de courants particuliers ; mais leur nomenclature et les détails qui les con-

cernent étant purement du domaine de la géographie, nous renverrons aux ouvrages sur cette science, et à un traité de Romme *sur les vents, les courants et les marées*. Nous nous bornerons ici à citer le plus considérable de ceux de l'Océan atlantique, le *gulf stream* (courant du golfe); cet exemple suffira pour donner une idée de ces fleuves marins, et pour mettre à même de juger des effets qu'ils peuvent produire sur la partie solide du globe.

Les eaux de l'Océan, portées dans le golfe du Mexique par le courant général dont nous avons parlé, en sortent par le détroit de Bahama, et continuent à courir dans la direction de ce détroit, vers le N. N. E., à peu près parallèlement aux côtes des États-Unis d'Amérique, jusqu'à la rencontre du grand banc de Terre-Neuve; là, le courant est contraint de changer de direction: il tourne vers l'est et va jusqu'aux Açores, où il semble se perdre dans l'Océan; cependant, en le suivant avec soin, on le voit tourner vers le sud-est et puis vers le sud, passer à Madère, et se jeter, aux îles du cap Vert, dans le grand courant équatorial, où ses eaux, reprenant la route du golfe du Mexique, recommencent une nouvelle révolution. M. de Humboldt porte la longueur de ce trajet à 3800 lieues, et il compte que l'eau emploie deux ans et dix mois à le faire. La rapidité des

eaux du courant et leur température les font distinguer dans la masse de l'Océan : à la sortie du canal de Bahama, la vitesse est de neuf mille mètres par heure, et par conséquent quatre fois plus grande que la vitesse moyenne de la Seine à Paris (1) ; à sept cents lieues du canal elle n'est diminuée que de moitié ; et M. de Humboldt donne trois mille mètres comme une moyenne, depuis le détroit jusqu'à Terre-Neuve. A mesure que la vitesse diminue, la largeur augmente ; ou, plus exactement, la vitesse diminue à mesure que la largeur augmente : cette dernière est de 15 lieues au canal de Bahama, de 45 à la hauteur de Charles-Town, de 80 à Terre-Neuve, et 160 aux Açores. La température se maintient encore long-temps au degré qu'elle avait dans le golfe du Mexique : près de Terre-Neuve, M. de Humboldt l'a trouvée de  $22\frac{1}{2}$  degrés du thermomètre centigrade, tandis que celle de la mer voisine n'était que de  $17\frac{1}{2}$  degrés (2). Ce courant, ainsi que la plupart des autres, est bordé, en quelques endroits, de contre-courants. Ailleurs, il présente, dit-on, des *sous-courants*, qui vont également en sens contraire.

---

(1) Mariotte porte cette vitesse moyenne, entre le Pont-Royal et le Pont-Neuf, à cent pieds par minute. (*Voyez ses Œuvres*, pag. 339.) M. Prony, d'après des expériences faites avec soin, par M. de Chezy, au-dessous du pont de Neuilly, estime à 0,653 mètres par seconde, ou à 120 pieds par minute, la vitesse de la Seine dans cette région.

(2) *Relation historique du voyage de M. de Humboldt*, tom. 1.<sup>re</sup>

Le célèbre Halley, en annonçant le premier l'existence des *sous-courants*, en a cité un grand nombre d'exemples, que nous croyons superflu de rapporter ici.

Peut-être tous les courants particuliers ne sont-ils que des parties du grand courant équatorial différemment déviées de leur direction, soit par la rencontre de quelques côtes, soit par le passage dans quelques détroits? Peut-être encore le versement d'une mer, ou plutôt de son *trop plein*, dans une autre, a-t-il donné lieu à quelques courants particuliers?

Lorsque les fleuves et les pluies portent dans une mer plus d'eau que l'évaporation n'en enlève, il doit s'établir un courant et comme un transport des eaux de cette mer dans une mer contiguë qui ne serait pas dans le même cas, ou qui y serait moins. De là provient le courant du Bosphore allant de la mer Noire à la Méditerranée, et que M. Andreossy regarde comme une continuation du cours des fleuves qui traversent cette première mer pour se rendre à la seconde. La mer Baltique reçoit également des fleuves plus d'eau qu'elle n'en perd par l'évaporation; aussi y a-t-il, dans le Sund, un courant assez fort, dirigé vers l'Océan atlantique. Cet océan lui-même, recevant la presque-totalité des eaux de l'Europe et de l'Amérique, et la majeure partie de celles de l'Afrique, est

porté, dit-on, en masse, dans la grande mer du Sud; il se verse aussi en partie dans la Méditerranée par le détroit de Gibraltar, où il existe continuellement un courant dirigé vers cette mer intérieure.

Les vents exercent une action bien marquée sur les courants de la mer. Nous avons vu que c'est à l'action des vents alisés que M. Laplace attribuait l'existence même du grand courant équatorial, et par suite celle de la plupart des autres. Toutes les fois que le vent souffle dans une direction opposée au courant de Bahama (le *gulf stream*), il diminue sa largeur et augmente sa vitesse. M. Andreossy lui a vu modifier diversement la largeur et la vitesse du courant du Bosphore, selon sa force et sa direction.

Contenu des  
eaux de la  
mer.

Salure.

§. 17. Les principales substances que l'on est parvenu à retirer des eaux de la mer, sont l'hydrochlorate de soude (sel commun); les sulfates de magnésie, de soude et de chaux; quelques carbonates terreux, et quelques parties bitumineuses. Les trois analyses suivantes donneront une idée de la nature et de la quantité des matières salines : la première a été faite par Bergmann sur de l'eau prise, à la hauteur des Canaries, en pleine mer, à soixante brasses de profondeur (1); la seconde l'a été par Murray sur de l'eau

---

(1) *Physicalische Beschreibung der Erdkugel*, §. 97.



puisée dans le golfe de Leith, en Angleterre; et la troisième par M. Bouillon-Lagrange sur l'eau de l'Océan qui baigne les côtes de la France (1).

*Sur 100 parties.*

| SUBSTANCES.                 | EAU DE LA MER |                |            |
|-----------------------------|---------------|----------------|------------|
|                             | D'AFRIQUE.    | D'ANGLE-TERRE. | DE FRANCE. |
| Hydrochlorate de soude . .  | 3,21          | 2,48           | 2,51       |
| Hydrochlorate de magnésie   | »             | 0,34           | 0,35       |
| Sulfate de soude . . . . .  | »             | 0,10           | »          |
| Sulfate de magnésie . . . . | 0,87          | 0,08           | 0,58       |
| Sulfate de chaux . . . . .  | 0,10          | 0,09           | 0,02       |
| Carbonate de chaux . . . .  | »             | 0,01           | 0,02       |
| Carbonate de magnésie . .   | »             | 0,02           | »          |
| Acide carbonique . . . . .  | »             | »              | 0,02       |
| TOTAL . . . . .             | 4,18          | 3,12           | 3,50       |

L'on avait cru, jusqu'à ces derniers temps, que la salure de la mer était plus considérable dans les régions chaudes, et par suite qu'elle augmentait à mesure qu'on s'approchait de l'équateur ; mais des observations, faites récemment et avec soin, ont prouvé qu'elle était à très-peu près la même dans tous les parages où des circonstances absolument locales n'avaient pas donné lieu à quelque anomalie. M. Gay-Lussac, essayant de l'eau de l'Océan atlantique prise en pleine

(1) *Annales de chimie et de physique*, tom. 6.

mer, a peu près à toutes les latitudes, depuis le tropique du Capricorne jusque dans nos latitudes, n'a vu la quantité de substances salines varier que de 3,4 à 3,8 pour cent. Au 80.<sup>e</sup> degré de latitude nord, près et sous les glaces, Irwing a également trouvé 3,3 et 3,5.

Marsigli, Bergmann, Wilke, etc., d'après quelques données, pensaient encore que la salure augmentait, dans la mer, à mesure qu'on s'y enfonçait : mais les observations ultérieures n'ont pas confirmé cette opinion ; et Irwing n'a pas trouvé l'eau plus salée à 1250 mètres de profondeur qu'à la surface (1).

Toute cause qui porte de l'eau douce dans un parage y diminue la salure : de là vient qu'elle est souvent moins considérable à l'embouchure des grands fleuves. L'eau de la mer est, dit-on, potable à quelques lieues de distance des bouches de la Plata : peut-être est-ce une cause de ce genre qui n'a donné à Murray que 3,1 pour la quantité de sels contenus dans les eaux du golfe de Leith. Les grandes pluies diminuent encore la salure ; des expériences faites sur les côtes du Cumberland n'ont indiqué que 2 pour cent d'hydrochlorate de soude après une saison pluvieuse, tandis qu'on a habituellement 2,8 (*Bergmann*). La fonte des glaces produit en-

---

(1) *Voyage du capitaine Phipps au pôle boréal, en 1773.*

core quelquefois un effet analogue. On sait que l'eau de la mer, en se congelant, repousse en quelque sorte le sel qu'elle contient, et par conséquent la résolution en eau d'une grande quantité de glaces ne peut qu'affaiblir la salure dans le lieu où elle s'opère, tout comme leur formation ne peut que l'augmenter : aux salines de Walloë en Norwége, on obtient jusqu'à 4,2 d'hydrochlorate de soude, à la fin de la saison des gelées, tandis qu'en d'autres temps on n'a que moitié de cette quantité.

Au reste, les mouvemens dont l'eau de la mer est agitée, les courants et les tourmentes, mélangeant continuellement les eaux des diverses latitudes et même des diverses profondeurs, ne peuvent que rétablir bientôt l'uniformité dans la salure, lorsque quelque cause accidentelle vient à la troubler.

Les parties bitumineuses qui peuvent exister dans la mer, n'y sont qu'en quantité insensible ; elles proviennent vraisemblablement de la décomposition des êtres organisés qui vivent dans leur sein, et de celles que les fleuves y apportent. L'amertume des eaux marines, qui leur a été long-temps attribuée, est principalement due aux sels magnésiens.

D'où vient, demandera-t-on, la quantité considérable de sel que présentent partout les eaux de la mer, et qui semble les distinguer de celles qui coulent sur nos continents ?

Halley et quelques autres physiciens, observant que les fleuves portent à la mer une quantité considérable d'eau tenant en dissolution un plus ou moins grand nombre de particules salines; que cette même eau, s'évaporant, en sort entièrement pure, et qu'elle y laisse ainsi tout ce qu'elle y avait porté, ont pensé que, quelque petite que pût être la quantité de sel ajoutée chaque année aux eaux de l'Océan, elle ne pouvait manquer de devenir considérable depuis la longue suite de siècles que les fleuves mènent leurs eaux à ce grand réceptacle, et qu'elle pouvait être l'unique cause de la salure actuelle des mers. Les observations faites, dans ces derniers temps, en Perse par Olivier, et en Sibérie par Pallas et Patrin, semblent donner un nouveau degré de vraisemblance à cette opinion : tous les grands lacs de ces pays qui ont des affluents et n'ont point d'issue, qui ne perdent ainsi que par l'évaporation les eaux que les rivières et ruisseaux leur apportent, sont salés. Cependant, lorsqu'on considère que le sol de la mer est de même nature que celui des continents, et qu'il en est comme le prolongement; que celui-ci renferme un grand nombre de masses de sel gemme et de roches salées; que c'est en passant sur ces masses et ces roches que les eaux courantes prennent leur salure, il est difficile de ne pas croire qu'il n'existe pas de pareilles

masses dans le sein de la mer, et que, dissoutes par ses eaux, elles n'aient concouru à les saler : ou, pour parler un langage plus géologique, il est difficile de ne pas croire que la même cause qui a produit le sel sur nos continents, n'ait pas également produit celui qui est contenu dans les mers.

*b) De l'eau dans l'atmosphère.*

§. 18. La partie superficielle des eaux de la mer et de celles qui sont à la surface du globe, cédant à l'action dissolvante du calorique, se réduit continuellement en vapeurs, et, sous cette forme, elle s'élève dans l'atmosphère, dont elle devient une des parties constituantes, ainsi que nous l'avons remarqué, §. 10.

Passage de  
l'eau dans  
l'atmosphère.

Évaporation.

La quantité d'eau qui s'évapore sur des espaces et en des temps égaux, doit naturellement diminuer de l'équateur au pôle. Des observations faites avec soin nous apprennent qu'à Paris l'épaisseur de la tranche que l'évaporation enlève, en un an, à une masse d'eau, est d'environ  $32\frac{1}{2}$  pouces ou 88 centimètres (1); et, sans s'éloigner notablement de la réalité, on peut porter à un mètre, terme moyen, l'épaisseur de cette tranche

---

(1) *Académie des sciences*, tom. X. L'eau s'évaporait d'une cuvette entretenue pleine et placée sur la plate-forme de l'Observatoire.

sur la surface des continents : elle sera moindre sur la surface des mers.

Le produit de l'évaporation, en un temps donné, dépend de quatre éléments :

1.<sup>o</sup> *De la température.* La vapeur n'étant que de l'eau tenue en dissolution par le calorique, la quantité qui s'en produit doit naturellement augmenter avec la chaleur. Elle doit être proportionnelle à la force évaporante, qui est ici représentée par la force élastique du fluide gazeux : ainsi, le rapport entre cette quantité et la température sera le même que celui qui existe entre la force élastique et la température thermométrique ; et les expériences de Dalton nous ont fait connaître ce dernier. (Voyez son expression algébrique à la note V.)

2.<sup>o</sup> *Du degré de siccité de l'air ambiant.* Plus il sera sec, plus l'évaporation sera prompte : elle sera proportionnelle à la différence qu'il y a entre la quantité d'eau que cet air peut contenir et celle qu'il contient déjà réellement : ainsi elle sera nulle, s'il est entièrement saturé ; elle sera moitié moins prompte que dans un milieu sec, s'il renferme déjà la moitié de la vapeur qu'il peut admettre. C'est l'humidité déjà contenue dans l'air reposant sur la surface des grandes masses d'eau, qui fait qu'en général, en pleine mer, l'évaporation est moins considérable que sur le continent et même près des côtes ; et d'après cette même cause, sous l'équateur, au milieu de l'Océan, l'évaporation est moins considérable que la latitude ne porterait à le croire. Quelques observations de M. de Humboldt n'ont pas indiqué au 10.<sup>e</sup> degré de latitude une plus grande évaporation qu'au 40.<sup>e</sup>, quoique la chaleur fût de 26 degrés dans le premier de ces endroits, et de 15 seulement dans l'autre.

3.<sup>o</sup> *De la pression de l'atmosphère.* Moins cette pression sera considérable, plus l'évaporation sera grande. On sait avec quelle facilité les fluides se vaporisent sous le récipient de la machine pneumatique. Dans les lieux élevés, ils bouillent à l'aide d'une chaleur moins forte (1), et se dissipent

(1) D'après les expériences de Deluc et de Saussure, le degré de l'ébullition de l'eau, sous une pression barométrique, repré-

plus promptement. Saussure, par des expériences faites à Genève et sur le col du Géant, à 3436 mètres d'élévation, a trouvé que, les pressions atmosphériques, ou les hauteurs du baromètre qui les représentent, étant dans le rapport de 758 à 507, les quantités d'eau évaporées, tout étant d'ailleurs ramené aux mêmes circonstances, étaient entre elles comme 84 à 57 (1). En prenant les élémens du calcul de comparaison dans les tables hygrométriques de Dalton et de Gay-Lussac, je trouve 84,4 à 41,6 pour ce même rapport : ainsi, une diminution de moins d'un tiers dans la pression rend plus que double la quantité d'eau évaporée. Mais, n'ayant qu'une seule expérience, on ne saurait en déduire un résultat général sur les effets de la diminution de pression, d'autant plus que les trois observations de Saussure, sur le col du Géant présentent entre elles des différences assez considérables : l'évaporation à Genève étant représentée par 1, celles qu'on a eues sur la montagne le sont par 1,7, 2,8 et 2,1.

4.<sup>o</sup> *De l'agitation de l'atmosphère.* Un courant d'air, entraînant la vapeur à mesure qu'elle se forme, met continuellement en contact avec la surface évaporante un air plus sec ; peut-être encore exerce-t-il une action mécanique sur le fluide. Dalton a remarqué que, tout étant d'ailleurs le même, l'évaporation, par un très-grand vent, est plus que double de celle qui a lieu dans un air entièrement calme (2).

sentée par  $H$  et exprimée en fraction de mètre, est donné sur le thermomètre centigrade par l'expression suivante :

$$61,2 \times \text{logarithme } H + 107,3.$$

(1) *Voyage dans les Alpes*, §. 2058 et suiv.

(2) L'épaisseur de la lame d'eau qui s'évapore, en une heure, en temps calme, à une petite élévation au-dessus de la mer, et à des degrés du thermomètre et de l'hygromètre déterminés, est donnée par la formulé

$$0,034 \text{ mètr. } \varphi (1-n).$$

Voyez, note V, l'acception des lettres  $\varphi$  et  $n$ .

D'après les expériences rapportées dans l'*Hygrométrie* de Saussure, on aurait, au moins dans les circonstances météorologiques ordinaires, et  $n$  étant le degré de l'hygromètre,

$$0,034 \varphi (1,47 - 0,015 n).$$

Retour de  
l'eau sur la  
terre.

§. 19. L'eau, ainsi réduite en vapeurs et répandue dans l'atmosphère, y séjourne jusqu'à ce que, de nouvelles causes venant à agir, elle reprenne son premier état, et se précipite, tantôt sous forme visible, tantôt sous forme invisible, comme dans la formation de la rosée.

Dans les précipitations visibles, la vapeur, en quittant l'état aériforme, commence par former de petits globules qu'on regarde généralement, d'après Saussure, comme de nature vésiculaire, c'est-à-dire comme creux dans leur intérieur. En cet état, ils se soutiennent dans l'atmosphère, en prenant la place qui leur est assignée par leur pesanteur spécifique jointe à celle de l'air interposé, et ils y forment des *nuages*. Ils se réunissent ensuite en gouttelettes d'eau, qui, étant plus pesantes que l'air, tombent sous forme de *bruine* ou de *pluie*, suivant leur grosseur. Lorsque la région, dans laquelle se fait la résolution du nuage en eau, est au-dessous du terme de congélation, les globules, en se réunissant, cristallisent en petites aiguilles qui, par leurs groupements, forment des flocons de *neige*. Si les gouttes, dans leur chute, viennent à éprouver un grand degré de froid, produit par l'évaporation ou par toute autre cause, elles passent à l'état de glace, et il en résulte de la grêle.

La cause qui fait prendre la forme vésiculaire à la vapeur



répandue dans l'atmosphère nous est absolument inconnue. Puisque la vapeur n'est que de l'eau tenue en dissolution par le calorique, il était naturel de penser qu'une diminution de chaleur pourrait être la cause de ce phénomène; mais il n'en est point ainsi. Je me suis souvent trouvé dans les couches de l'atmosphère au moment où les nuages s'y formaient, et le thermomètre n'y éprouvait aucune variation: bien plus, on voit souvent, après une nuit très-claire, le ciel se couvrir de nuages dès que le soleil vient réchauffer la terre; il reprend sa sérénité vers le coucher de cet astre, et cela consécutivement plusieurs jours de suite. D'ailleurs, l'effet du refroidissement, dans une couche d'air, est de précipiter la vapeur qui y est contenue sous forme de rosée, ainsi que nous le dirons bientôt; mais il ne produit point de nuages. L'état même de l'eau dans les nuages est extrêmement problématique, et l'on a peine à concevoir comment des vésicules, dont l'enveloppe est de l'eau et qui sont pleines de l'air au milieu duquel elles se forment, peuvent être d'une pesanteur spécifique égale à celle de ce même air: on ne peut pas dire que celui qui est dans leur intérieur, étant saturé de vapeur, soit plus léger; car l'air ambiant, dans le nuage, est presque toujours dans le même état de saturation. Des considérations sur l'attraction moléculaire ont conduit M. Laplace à conclure qu'une lame d'eau, d'une épaisseur plus petite que le rayon de la sphère d'activité sensible de ses molécules, éprouve une compression beaucoup moindre qu'une pareille lame située au milieu d'une masse considérable de ce liquide, et qu'il est naturel de penser que sa densité est très-inférieure à celle de cette masse; après cette observation il ajoute: « Est-il invraisemblable de  
 « supposer que c'est le cas de l'enveloppe aqueuse des va-  
 « peurs vésiculaires, qui par là deviendraient plus légères et  
 « seraient dans un état moyen entre l'état liquide et celui  
 « de vapeurs? » D'après une opinion dernièrement émise par M. Fresnel (1), et que je serais disposé à adopter, ayant souvent remarqué la propriété qu'ont les nuages de prendre

(1) *Bulletin de la Société philom.* Octobre 1822.

une chaleur supérieure à celle de l'atmosphère environnante, l'air interposé entre les molécules aqueuses, soit pleines, soit vésiculaires, augmenterait de température par l'effet du contact avec ces molécules échauffées par les rayons solaires ou par les rayons calorifiques venant de la terre : étant ainsi plus léger, il s'élèverait, entraînant ces molécules, par suite de l'adhérence et du frottement, jusqu'à ce que son poids spécifique, joint au leur, fût en équilibre avec celui du reste de la couche; et la tendance qu'il aurait à s'élever encore maintiendrait le tout, c'est-à-dire le nuage, à cette hauteur. D'ailleurs, la cause qui résout en eau les vapeurs vésiculaires, nous est tout aussi inconnue que celle qui a donné lieu à leur formation.

La hauteur à laquelle s'élèvent les nuages, peut nous donner une idée de celle qu'atteignent les vapeurs. Riccioli, qui a fait un grand nombre de mesures trigonométriques à ce sujet, n'a pas vu de nuages à plus de 5000 pas (8000 mètres) d'élévation. Bouguer met au rang des plus élevés ceux qu'il a vus passer à 7 ou 800 mètres au-dessus du Chimborazo, et qui étaient par conséquent à près de 7000 mètres. M. Gay-Lussac, se trouvant à cette hauteur, en a aperçu au-dessus de lui quelques-uns d'un petit volume qui lui paraissaient être encore à une distance considérable. Malgré ces exemples d'une très-grande élévation, rien n'indique que les vapeurs dépassent dix ou douze mille mètres. Dans l'état ordinaire des choses les nuages sont bien plus bas. Durant quatre étés que j'ai eu presque continuellement le Mont-Blanc et le Mont-Rose sous les yeux, je n'ai que très-rarement vu les nuages au-dessus d'eux, et ces montagnes n'ont pas cinq mille mètres. Le plus souvent les nuages, le long des Alpes qui bordent les plaines du Piémont, se tiennent à 1800 mètres de hauteur.

Quantité  
d'eau  
tombée.

La quantité de pluie qui tombe en différents lieux du globe varie considérablement suivant les circonstances locales; elle paraît principalement dépendre de la température, de l'éloignement de la mer, et de la position

par rapport aux chaînes de montagnes. M. de Humboldt a cherché à exprimer l'effet de la température ou du climat sur la quantité d'eau de pluie tombée, par le tableau suivant :

| PLUIE,<br>EN UN AN. | TEMPÉRATURE<br>CORRESPONDANTE. | LATITUDE. |
|---------------------|--------------------------------|-----------|
| 90 pouces.          | 27°                            | 0°        |
| 75                  | 26                             | 19        |
| 27                  | 13                             | 45        |
| 16                  | 4                              | 60        |

Nous remarquerons que, dans les climats chauds, les pluies, quoique beaucoup plus abondantes, sont cependant moins fréquentes que dans les pays froids. Les contrées voisines de la mer, surtout lorsqu'elles sont du côté où le vent souffle le plus habituellement, sont bien plus pluvieuses que celles qui sont situées en avant dans les terres. Les montagnes paraissent avoir une grande action sur les nuages; elles favorisent leur formation et leur résolution en pluie: aussi en tombe-t-il une plus grande quantité dans les pays montagneux, toutes choses égales d'ailleurs. La position d'un pays par rapport aux chaînes a encore une grande influence sur la quantité de pluie; elle est beaucoup plus petite dans les contrées placées derrière ces chaînes, par rapport au point de l'horizon d'où viennent habituellement les vents pluvieux.

M. Cotte, ayant recueilli cent quarante-sept observations sur la quantité de pluie qui tombe annuellement, en a conclu, pour la moyenne, 35 p. : de sorte que l'épaisseur de la quantité d'eau qui tombe sur la surface du globe serait, terme moyen, de près de trois pieds ou d'un mètre.

Au reste, je dois observer que, d'année en année, cette quantité varie considérablement dans le même lieu. La moyenne des années pluvieuses, à Toulouse, est de 32 pouces, et celle des années sèches est de 15 pouces; à Paris, on a eu, en 1711, 26 pouces, et en 1723 seulement  $7\frac{1}{2}$  pouces.

L'on sait encore qu'il tombe plus d'eau sur les lieux enfoncés que sur les lieux élevés, proportionnellement à leurs surfaces: ainsi, en 1818, il est tombé 0,518 mètres de pluie dans un récipient placé dans la cour de l'observatoire de Paris, tandis qu'il n'en est tombé que 0,432 dans un récipient pareil placé sur la terrasse de l'observatoire, 27 mètres plus haut. Si le plus de *verticalité* des filets de pluie, dans les endroits abrités des vents, n'est pas l'unique cause de cette différence, elle doit du moins y avoir une bien grande part; il est difficile même d'en concevoir une autre.

Rosée.

Le refroidissement que les couches inférieures de l'atmosphère éprouvent, principalement au lever du soleil, prive une partie

de la vapeur contenue dans ces couches du calorique qui la tenait à l'état gazeux; elle se résout en eau, se précipite, et se dispose en-gouttelettes sur les plantes et autres corps qui couvrent la surface de la terre: c'est la *rosée*. La quantité qui en tombe est plus considérable qu'on ne le pense communément: Halles la porte à trois pouces par an pour Londres, et Dalton estime à près de cinq pouces celle qui tombe annuellement à Manchester. (Thomson, *Chimie*.)

ART. 3. *De l'eau à la surface de la terre.*

§. 20. Lorsque l'eau qui tombe de l'atmosphère sur la surface de la terre ferme est en petite quantité, elle humecte seulement le sol qui la reçoit; l'évaporation la reporte bientôt dans cette même atmosphère. Mais, lorsque la pluie est abondante ou continue, l'eau filtre à travers les terrains meubles ou perméables, et elle descend ainsi dans l'intérieur de la terre, jusqu'à ce qu'elle rencontre une couche ou roche qui lui soit imperméable; alors elle glisse dessus, elle en suit les sinuosités, qui, semblables à des gouttières, la ramènent à la surface du globe: telle est l'origine des sources (1).

Des eaux  
courantes.

Les filets d'eau produits par les sources ordinaires, en coulant à la surface du globe,

---

(1) Voy. quelques détails à leur sujet, note VII, à la fin du volume.

s'y réunissent d'abord en ruisseaux, puis en rivières, et finalement en fleuves.

Les détails relatifs à ces divers cours d'eau, et notamment aux fleuves, sont entièrement du domaine de la géographie; et nous renvoyons aux ouvrages qui traitent de cette science, pour ce qu'on peut dire sur leur grandeur, leur direction, la périodicité des crues, et différentes circonstances que présentent plusieurs d'entre eux.

Contenu des  
sources et  
des eaux  
courantes.

§. 21. Les eaux, en coulant dans l'intérieur du globe à travers les masses minérales, s'y chargent de diverses substances, qu'elles portent avec elles lorsqu'elles sourdent à la surface du sol.

En général, celles qui sortent des terrains primitifs ou sablonneux, sont limpides et pures; mais celles qui ont traversé des montagnes calcaires, et surtout des montagnes gypseuses, portent avec elles une quantité plus ou moins considérable de carbonate et de sulfate de chaux, qui les rend peu agréables à boire et impropres à certains usages domestiques. Il en est à peu près de même de celles qui ont séjourné dans des terrains de transport, où des substances pyriteuses, animales et végétales, ont donné lieu à la formation de quelques sels ou matières solubles.

Les eaux qui ont traversé des roches imprégnées de pareils sels et matières, et qui en contiennent une quantité notable, indépen-

damment du carbonate et du sulfate de chaux, prennent vulgairement le nom d'eaux minérales, et on y ajoute celui de *thermales*, lorsqu'elles sortent chaudes de l'intérieur de la terre. Afin de mettre à même d'apprécier la nature et la quantité des substances qu'elles renferment, je donnerai ici les analyses de quelques-unes des plus célèbres de ces eaux.

| SUBSTANCES<br>contenues<br>DANS MILLE PARTIES. | FLON-<br>DIÈRES. | RARÈ-<br>GES. | SAGNÈ-<br>RES DE<br>LECCOE. | CARLS-<br>BAD. | FRY-<br>MONT. | GEY-<br>SER. |
|------------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|----------------|---------------|--------------|
|                                                | (1)              | (2)           | (3)                         | (4)            | (5)           | (6)          |
| Sulfate de soude. . .                          | 0,13             | »             | »                           | 5,80           | 7,00          | 0,15         |
| Sulfate de magnésic .                          | »                | 0,07          | 0,03                        | »              | »             | »            |
| Sulfate de chaux . .                           | »                | 0,11          | 0,06                        | »              | »             | »            |
| Hydrochlor. de soude                           | 0,04             | 0,03          | 0,02                        | 1,19           | 12,17         | 0,25         |
| Hyd. de magnésic . .                           | »                | 0,03          | 0,03                        | »              | 1,02          | »            |
| Hyd. de chaux (sec) .                          | »                | »             | »                           | »              | 1,22          | »            |
| Carbonate de soude .                           | 0,12             | »             | »                           | 3,71           | »             | »            |
| Carbonate de chaux .                           | 0,03             | 0,05          | 0,03                        | 0,41           | 1,45          | »            |
| Carb. de magnésic. .                           | »                | »             | »                           | »              | 2,39          | »            |
| Carbonate de fer. . .                          | »                | »             | »                           | »              | »             | »            |
| Silice . . . . .                               | 0,07             | 0,01          | 0,02                        | 0,09           | »             | 0,54         |
| Alumine. . . . .                               | »                | »             | »                           | »              | 0,31          | 0,05         |
| Soufre. . . . .                                | »                | 0,01          | 0,02                        | »              | »             | »            |
| Matière bitumineuse.                           | »                | »             | »                           | »              | 0,07          | »            |
| Mat. anim. gélat. . .                          | 0,05             | »             | »                           | »              | »             | »            |
| en volume } hydr. sulf.                        | »                | 3,00          | 1,80                        | »              | »             | »            |
| sur cent } acide carb.                         | »                | 9,00          | 0,90                        | 32,00          | 147,0         | »            |
| ponces.                                        |                  |               |                             |                |               |              |

(1) Vauquelin, *Annales de chimie*, tom. 39.

(2) Source du *Bain royal* (temp. 31°), analysée par M. Poumiers.

(3) Source de la *Reine* (temp. au-dessus de 31°), par le même.

(4) *Klaproth*. Température 74°.

(5) *Westrumb*. Ces eaux ne sont pas thermales, leur pesanteur spécifique est 1,0115 et 1,0095 après la volatilisation de l'acide carbonique.

(6) *Black*. Voyez une notice sur ces eaux célèbres, à l'article des *Foleans*, chap. IV.

Arrêtons un instant notre attention sur la dissolution de la silice dans l'eau. Quelle que soit la cause ou l'agent intermédiaire qui la produit, le fait est hors de doute : la silice n'est pas simplement suspendue dans l'eau, elle y est intimement combinée et *parfaitement dissoute*, dit M. Vauquelin (1). Klaproth s'exprime d'une manière aussi formelle dans son analyse des eaux de Carlsbad. Bergmann, ayant trouvé de la silice dans celles d'Upsal, s'est vu contraint, dit-il lui-même, d'adopter cette opinion, après avoir remarqué que l'eau, passée plusieurs fois par le filtre, donnait toujours la même quantité de silice : il observe encore que l'eau chaude exerce une action plus marquée sur cette terre.

Plusieurs sources contiennent du pétrole et autres matières bitumineuses, quelquefois même en très-grande quantité : telles sont celles que Spallanzani a vues au Monte-Zebio, dans le Modénois ; il s'en trouve plusieurs à Astracan et sur les bords du Tigre. Ce fleuve en reçoit une si notable quantité, en quelques endroits ; qu'il suffit d'approcher une torche de ses eaux pour qu'elles se couvrent, sur toute la surface, jusqu'à une distance considérable, de flammes qui ne s'éteignent que lorsque le bitume est consumé (2).

---

(1) *Annales de chimie*, tom. 39.

(2) Bergmann : sa *Géographie physique* (*Physicalische Beschrei-*



Les fleuves, n'étant que la réunion d'une grande quantité de sources, doivent contenir les mêmes substances; mais, celles-ci y étant étendues d'une grande quantité d'eau, elles y sont à peine sensibles.

Les eaux courantes se chargent; surtout dans les temps de crue, de matières terreuses, qu'elles déposent ensuite, sous forme de limon, dans les lieux où leur vitesse se ralentit. On sait quelle grande quantité le Nil en dépose chaque année sur le sol de l'Égypte: le docteur Shaw estime que les eaux de ce fleuve charient  $\frac{1}{132}$  de limon en volume. Celles du Rhin, dans des moments de crue, en contiennent, d'après Hartzoeker, jusqu'à  $\frac{1}{100}$ . Manfredi, ayant pris de l'eau de rivière médiocrement trouble, et l'ayant mise dans un vase, a trouvé, au bout de quelque temps, qu'elle avait produit un dépôt terreux qui était  $\frac{1}{174}$  de son volume (1). Le docteur Barrow, ayant soumis à une pareille expérience l'eau du fleuve Jaune à la Chine, en a retiré près de  $\frac{1}{200}$  de limon (2).

---

*bung der Erdkugel)* contient plusieurs autres détails sur le contenu des eaux, principalement aux §§. 73, 75, 83, 91 et 97.

(1) *Collection académique*, tom. 10.

(2) Makartney, *Voyage dans la Chine*.

## CHAPITRE III.

## DES INÉGALITÉS DE LA SURFACE DU GLOBE.

Objet de ce  
chapitre.

§. 22. RIEN ne frappe plus l'observateur qui promène ses regards sur la surface de la terre, que cette multitude d'inégalités, ou différences de niveau, qu'elle lui présente de toutes parts. Des exhaussements du sol bornent sa vue presque de tous côtés; il ne peut aller d'un lieu à un autre sans traverser une suite continuelle d'élévations et d'enfoncements. Quelques contrées sont hérissées de hauteurs et de pics; d'autres sont limitées comme par d'immenses digues: les plus unies même lui montrent encore des coupures et des ondulations très-sensibles. Quelque petites que ces inégalités soient par rapport à la masse du globe, puisqu'elles ne sont pas, sur sa surface, ce que les petites aspérités de la peau d'une orange sont sur ce fruit, et que la plus considérable n'aurait pas même une demi-ligne de hauteur sur un globe de quatre pieds de diamètre (1), elles ne lais-

(1) La plus haute des montagnes, qui est sur l'Himmâlâya (l'*Ymaüs* des anciens), dans le Thibet, n'a que 7848 mètres d'élévation au-dessus de la mer, et il n'est pas vraisemblable que la mer ait nulle part 4000 mètres de profondeur. Cette différence de niveau (11848 mètr.), entre ces points extrêmes, n'est que le 540.<sup>e</sup> du rayon terrestre.

sent pas que d'intéresser infiniment le géologiste : elles lui montrent à découvert la structure intérieure de la terre ; leur hauteur excède quatre et cinq mille fois celle de l'homme ; elles sont, en partie, les effets et les monuments des révolutions que notre planète a éprouvées. Leur examen va être l'objet de ce chapitre : nous les y considérerons sous le rapport topographique, indépendamment de la nature des substances qui les constituent ; et ce que nous dirons à leur sujet, pourra être ainsi regardé comme un essai sur la *configuration de la superficie du globe* (1).

§. 23. Pour nous faire une idée exacte de ces inégalités et de leurs différentes espèces, portons un instant notre attention sur la surface du globe, prise dans tout son ensemble.

Différentes  
sortes d'iné-  
galités.

Immédiatement après sa formation, cette surface n'était pas vraisemblablement celle d'un sphéroïde entièrement uni : la matière minérale, plus accumulée dans certaines parties, y avait produit des contrées plus élevées que le sol environnant. Vraisemblablement encore, par suite de la loi de continuité, et de la marche graduelle que la nature suit habituellement dans ses opérations, le passage des parties basses aux parties

---

(1) Voyez, note XII, à la fin de ce volume, l'exposition circonstanciée du mode le plus simple de mesurer les hauteurs ou différences de niveau.

élevées était progressif; les élévations se propageaient à de grandes distances, et tout ce qu'il en reste encore nous porte à croire qu'elles étaient originairement, sur le globe, comme de simples ondulations ou rugosités de sa surface.

Les eaux qui recouvrent une portion de la terre, laissent au-dessus de leur niveau les parties les plus élevées, la *surface des continents*, ou plutôt de la terre ferme, et elles la séparent, en quelque sorte, du *fond des mers*. De cette manière elles donnent lieu à une première division des inégalités : les détails qui la concernent étant du ressort de la géographie, nous n'en parlerons point ici (1).

(1) Nous nous bornerons simplement à observer, 1.<sup>o</sup> que, sur environ 5100000 myriamètres carrés que présente la surface du globe, 3700000, c'est-à-dire près des trois quarts, sont occupés par la mer : 2.<sup>o</sup> que les terres, formant l'autre quart, ne sont pas également réparties sur la surface du sphéroïde; elles sont comme groupées autour du pôle arctique, et l'hémisphère boréal en présente trois fois plus que l'autre.

Cette inégalité de répartition a frappé quelques savants, et les a portés à diverses conjectures. Buache, Buffon, Bergmann, etc., pensaient que l'excès des terres dans l'hémisphère boréal devait être contre-balancé ou équilibré par un grand continent austral qui nous était inconnu. Mais les navigateurs modernes, Cook entre autres, s'étant dirigés vers le pôle sud par des routes opposées, et ayant dépassé le cercle polaire sans trouver aucune terre, ont mis dans tout son jour la non-existence du prétendu continent. Parce qu'un des deux hémisphères porte sa surface un peu plus haut que l'autre au-dessus des mers, c'est-à-dire parce qu'il a un peu plus de volume que l'autre, et cela d'une quantité extrêmement petite, devons-nous en conclure qu'il a aussi plus de poids? Pour tirer cette conclusion, il faudrait que la matière qui compose le

En considérant la surface des continents, nous la voyons traversée par les grandes ondulations dont nous venons de parler; nous voyons encore d'autres ondulations ou rides d'un ordre inférieur la parcourir, soit dans le même sens, soit dans des sens différents : les parties supérieures de ces portions saillantes y forment des *régions élevées* ; leurs parties inférieures, et les espaces compris entre elles, y sont comme autant de *régions basses*. Telle est la première division des continents, et, en même temps, la plus générale, sous le rapport des inégalités de leur surface. C'est ainsi, par exemple, que l'Europe présente une grande *région basse*, comprise entre deux *régions élevées* qui la bornent l'une au nord et l'autre au midi. Cette dernière a sa partie centrale dans les Alpes de la Suisse ou plutôt des Grisons; elle s'étend vers l'ouest jusqu'à l'Océan atlantique, et vers l'est jusqu'à la mer Noire. La région élevée du nord comprend la partie septentrionale de l'Angleterre, de la Norwége, de la Suède, et de quelques provinces de la Russie d'Europe : c'est entre elles que se trouve cette sorte d'immense plaine qui renferme la partie sep-

---

globe fût exactement de même densité; mais, dans la partie de ce globe qui nous est connue, nous voyons, sous le rapport de cette densité, des différences assez notables d'un point à un autre; et on peut bien croire, d'après cela, qu'un des deux hémisphères peut être, en somme, un peu plus dense que l'autre, et que l'excès de densité compense le manque de volume.

tentrionale de la France, les Pays-bas, la Hollande, la basse Allemagne, la Silésie, la Pologne, et la majeure partie de la Russie jusqu'au pied des monts Ourals, vraie limite entre l'Europe et l'Asie.

Des causes, en partie connues et en partie inconnues, ont agi sur la surface des continents après sa formation première; elles l'ont sillonnée et découpée de différentes manières. Dans les régions élevées, elles ont, par suite de cette action, isolé, entre de grands sillons ou grandes vallées, de longues et hautes masses de terrain, c'est-à-dire qu'elles y ont produit des *chaînes de montagnes*. Dans des lieux plus bas, le morcellement n'aura produit que des *collines* ou des coteaux. Enfin, des parties, d'ailleurs assez planes, pourront être restées intactes sur une assez grande étendue (ou quelque remblai en aura couvert les inégalités); ce seront nos *plaines* actuelles. De sorte que la surface des continents présente maintenant un mélange continuuel de *montagnes*, de *collines* et de *plaines*: ce sont les *inégalités* de cette surface. Nous allons en traiter dans la première section de ce chapitre; la seconde sera consacrée à quelques considérations sur les *inégalités du fond de la mer*.

Le tableau suivant présente l'ensemble et la liaison de ces divers ordres d'inégalités.

|                      |                                  |                             |                                                               |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|
| SURFACE<br>DU GLOBE. | Continents<br>ou<br>terre ferme. | Régions<br>élevées.         | Montagnes (beaucoup).<br>Collines.<br>Plaines ( peu ).        |
|                      |                                  | Régions<br>basses.          | Montagnes ( très-peu ).<br>Collines.<br>Plaines ( beaucoup ). |
|                      | Fond<br>de la mer.               | Grands fonds.<br>Bas-fonds. |                                                               |

## SECTION PREMIÈRE.

*Inégalités de la surface des continents.*

ART. 1.<sup>er</sup> *Des montagnes et des chaînes de montagnes.*

Les montagnes étant plus particulièrement le théâtre des observations du géognoste, étant l'objet continuel de ses études et de ses descriptions, nous croyons devoir entrer dans quelques détails sur leur constitution physique. Nous considérerons d'abord une montagne seule et isolée : nous passerons ensuite à l'examen des *masses et chaînes de montagnes*; et ici nous aurons à examiner leur structure générale, leurs diverses parties, et finalement leur disposition respective. Je m'attacherai en même temps à fixer la nomenclature qui leur est relative, objet peut-être trop négligé dans notre langue.

§. 24. Une montagne, en prenant ce nom Montagne,  
dans son acception la plus restreinte, et en Ses parties:  
la considérant comme isolée, est une masse  
de terrain peu étendue et qui s'élève consi-

dérablement au-dessus du sol environnant ; elle y est comme une excroissance qui approche plus ou moins de la forme conique : la partie supérieure en est la *cime*, l'inférieure en est le *pied*, et au milieu sont les *flancs*.

La cime varie considérablement quant à sa forme. Souvent elle est arrondie, et se présente comme un *dôme* plus ou moins surbaissé ; d'autres fois elle s'aplanit et offre un *plateau* ; ailleurs elle se détache, en quelque sorte, de la montagne, prend une pente plus abrupte et forme un cône plus ou moins tronqué, c'est un *pic* ; enfin elle s'élève quelquefois en une pointe aiguë et élancée, c'est une *aiguille*. Ces diverses formes dépendent beaucoup, comme nous le verrons par la suite, de la nature de la roche.

La cime est ordinairement la partie de la montagne la plus petite, et les flancs sont la plus considérable. Le pied en est presque toujours la partie la moins inclinée, ce qui vient souvent des terres et pierres qui s'éboulent des parties supérieures. L'inclinaison des flancs est déjà très-considérable lorsqu'elle excède trente degrés.

Il est rare de trouver des montagnes isolées sur un terrain plat, de manière à présenter, dans leur entier, les diverses parties dont nous venons de parler ; en exceptant toutefois les volcans, lesquels sont habituellement dans ce cas : l'Etna, le Vésuve et le pic de Téné-



riffe nous en fournissent des exemples. L'Auvergne, outre ses anciennes bouches volcaniques en forme de cône, présente quelques montagnes isolées : tel est entre autres le fameux Puy-de-Dôme, élevé d'environ 600 mètres au-dessus de sa base. J'ai vu, dans le *Landscrone*, en Lusace, un exemple d'une montagne de plus de 500 mètres de hauteur, presque entièrement granitique, isolée au milieu d'une grande plaine. En Irlande, où ces monts isolés abondent, on les nomme *Devilstone* (pierres du diable).

§. 25. Le plus souvent les montagnes se présentent comme un grand massif de terrain élevé au-dessus du sol environnant, diversement découpé par des vallées, et des divers points duquel s'élèvent encore des cimes ou des montagnes particulières : ce sont des *masses de montagnes*. On les désigne habituellement, dans notre langue, sous le nom de *chaînes de montagnes*, quoique, strictement parlant, cette dénomination ne convienne qu'à quelques-unes d'entre elles fort étendues en longueur. Au reste, les masses peuvent toujours être considérées comme un assemblage de pareilles chaînes, ou de chaînons d'un ordre inférieur, mais de structure semblable.

Idée générale d'une chaîne. Sa structure et ses parties.

Donnons d'abord une idée aussi exacte que possible d'une chaîne et de sa structure.

Pour en montrer et nommer convenable-

ment les parties, ainsi que pour faire voir leur disposition respective, nous supposerons que l'on ait, au milieu d'une contrée plane, une grande masse de terrain semblable à une digue dont la coupe transversale; pareille à celle d'un toit surbaissé, présenterait un triangle d'une petite hauteur par rapport à la base. Ce solide représentera le massif de notre chaîne: les deux grandes faces en seront les deux *versants*; leur intersection, ou l'arête supérieure, en sera le *faîte*; la partie inférieure de chacun d'eux sera un des deux *pieds*; les deux petites faces (les bases du prisme) seront les deux *extrémités*; sa *longueur* sera la distance d'une extrémité à l'autre; sa *largeur* se prendra transversalement d'un pied à l'autre, et la *hauteur* sera l'élévation verticale du *faîte* au-dessus du pied ou au-dessus de la mer; enfin, le point de l'horizon vers lequel le *faîte* se dirigera; indiquera la *direction*.

Imaginons maintenant, sur chacun des deux versants, de part et d'autre du *faîte*; et à peu près perpendiculairement à sa direction, de grands sillons qui descendent jusqu'au pied. Ils formeront les *vallées principales*, et diviseront le massif de la chaîne en plusieurs massifs particuliers, ou *rameaux*, disposés, de part et d'autre du *faîte*, à peu près comme, dans un quadrupède, les côtes le sont à l'égard de l'épine du dos. Leur *faîte* ira, en baissant,

depuis celui de la chaîne jusqu'à son pied; ce sera une *crête* ou *faîte du second ordre* : les deux versants du rameau en seront les *pentes*. Si, sur les versants de la chaîne, on conçoit encore de nouveaux sillons dirigés à peu près dans le sens des premiers (soit que, ayant leur origine près du faîte, ils n'atteignent point le pied et qu'ils aboutissent à une vallée principale; soit que, partant du milieu du versant, ils aillent jusqu'au pied), ils donneront lieu à des vallées plus courtes, et ils bifurqueront les rameaux déjà existants, en les divisant, dans leur partie extrême, en deux ou plusieurs branches. Les pentes des deux rameaux voisins, qui forment les parois ou berges d'une même vallée, se joignent, par leur partie inférieure, en une ligne plus ou moins sinueuse qui occupe exactement le fond de la vallée; elle en est le *thalweg* (1). Les sillons qui ont donné lieu aux vallées, lorsqu'ils aboutissent au faîte, en ont comme emporté une portion; de sorte qu'à la naissance de la vallée il présente une échancrure arrondie, ou *col*. Entre deux cols voisins, le faîte, resté à sa primitive hauteur, forme une protubérance ou *cime*; de manière que sa longueur montre, en forme de

---

(1) Ce mot allemand, qui signifie *chemin de la vallée*, est aujourd'hui adopté dans les ouvrages techniques français; il se prononce *talweg* : il est verticalement au-dessous du *fil de l'eau* des ruisseaux ou rivières qui coulent dans la vallée.

dentelure, une alternative de *cimes* et de *cols* : les cimes sont les points de départ de deux rameaux opposés, un sur chaque versant; et les cols, les points de départ de deux vallées également opposées.

Passons maintenant à un rameau, et divisons-le, ainsi que nous en avons agi pour la chaîne principale, par des sillons perpendiculaires à sa crête. Nous produirons des rameaux et des vallées d'un second ordre, qui seront perpendiculaires aux rameaux et aux vallées du premier, mais qui nous présenteront les mêmes circonstances, et qui diviseront également la crête en une suite de cols et de cimes. Ces sillons, selon leur plus ou moins de grandeur, seront appelés *vallées*, *vallons*, ou *gorges* : ces dernières sont courtes et inclinées.

Quelquefois encore on trouve, dans les grandes chaînes, des rameaux du second ordre divisés, de la manière que nous venons d'exposer, en rameaux du troisième et même du quatrième, etc.; ce qui donne lieu à des vallées du troisième, du quatrième, etc., ordre. Ces rameaux d'ordre inférieur sont quelquefois appelés *contre-forts*, comme s'ils étaient destinés à épauler le rameau principal, de même que, dans les fortifications, les contre-forts épaulent les remparts.

Les chaînes de montagnes ne se présentent

pas, il est vrai, dans la nature, avec toute la régularité de celle dont nous venons de tracer l'esquisse : la forme et la disposition de leurs parties sont toujours plus ou moins altérées ou oblitérées ; mais , plus elles en approchent, plus elles sont régulières. On pourra se faire une juste idée de ce qu'elles sont en stricte réalité, en jetant les yeux sur une carte des Pyrénées : on y verra la manière dont les versants sont découpés par les vallées, et jusqu'à quel point la direction de celles-ci, et par conséquent celle des rameaux intermédiaires, sont perpendiculaires au faite.

Après avoir ainsi donné la définition et assigné la position des parties d'une chaîne, exposons successivement ce que chacune d'elles présente de général.

### *Parties d'une chaîne.*

§. 26. Le faite (1) d'une chaîne, étant la ligne (droite, courbe ou brisée) que l'on imaginerait à la jonction des deux versants, fait la séparation des eaux qui coulent de part et d'autre de la chaîne : de là vient le nom de *ligne de partage des eaux* (*divortia aqua-*

Faite.

(1) Le faite des grandes chaînes était désigné, par les Latins, sous la dénomination de *juga montium*. Il est assez extraordinaire qu'il n'ait pas un nom particulier dans notre langue. Dans plusieurs provinces du Midi de la France il porte celui de *serre*, lequel a vraisemblablement la même origine que le mot espagnol *sierra*, chaîne de montagnes.

rum) qu'on lui donne quelquefois; de là vient encore celui de versants, donné aux pentes. Sa détermination exacte sur le terrain devient quelquefois d'une grande importance, par exemple, lorsqu'on veut le faire servir à la fixation des frontières entre deux états limitrophes; et cela arrive fréquemment : c'est ainsi qu'en 1659 il fut stipulé, par le *traité des Pyrénées* (art. 42), que, le faite de ces montagnes formerait la limite entre la France et l'Espagne, à quelques exceptions près. Je remarquerai, à cette occasion, que les faîtes des grandes chaînes sont les limites les plus réelles qui puissent exister entre deux pays; et que, sous les rapports politiques, elles sont encore les plus convenables, plus même que les grands fleuves.

D'après ce que nous avons dit sur la structure des chaînes, il semblerait que, lorsqu'on en traverse une, de suite après avoir atteint son faite en montant sur un des versants, on doit descendre sur l'autre : cela arrive effectivement quelquefois; mais souvent le faite a une largeur considérable, et il faut la traverser pour aller d'un versant à l'autre. Très-rarement, dans les montagnes de la France et des contrées voisines, cette largeur est-elle d'une lieue; mais ailleurs elle a des dimensions bien plus considérables : dans le *Lang-Field*, en Norwége, le faite est un grand plateau ayant presque partout huit, dix et

même douze lieues de large, au rapport de M. de Buch. Le Mexique présente encore un bien plus grand exemple de ces larges faites : les Cordillères qui le traversent, ou plutôt qui y constituent la majeure partie du sol, montrent, entre deux versants assez abruptes, un énorme plateau, dont la hauteur, aux environs de Mexico, est de 2500 mètres, et dont la largeur, ayant jusqu'à cinquante lieues, offre d'immenses plaines, à peine interrompues par quelques arêtes saillantes; il se prolonge vers le nord, à une distance de cent cinquante lieues, en se tenant toujours au-dessus de 1700 mètres de hauteur. Au reste, même sur ces grands plateaux, il existe toujours une ligne de partage des eaux; et c'est elle qui représentera, dans tous les cas, la faite *géométrique*, s'il m'est permis de m'exprimer ainsi.

Dans les chaînes régulières, telles que les Pyrénées, les Vosges, la faite se continue assez directement d'une extrémité à l'autre, en présentant toutefois quelques sinuosités et même quelques crochets. Mais ailleurs, on le voit changer totalement de direction : c'est ainsi que dans les grandes Alpes, après avoir cheminé à peu près vers l'ouest-sud-ouest, depuis le Saint-Gothard jusqu'au-delà du Mont-Blanc, il tourne brusquement vers le sud, et se maintient dans cette nouvelle direction jusqu'à la Méditerranée.

Des versants. §. 27. Les versants ne peuvent être l'objet de considérations générales, que sous le rapport de leur inclinaison.

En regardant un versant comme une surface plane, descendant uniformément du faite jusqu'au pied de la chaîne, je trouve, d'après les observations parvenues à ma connaissance, que, dans les montagnes qui ne présentent d'ailleurs rien d'extraordinaire, l'inclinaison varie depuis 2 jusqu'à 6° : celle du versant septentrional des Pyrénées est de 3 à 4° ; celle du versant méridional des grandes Alpes, depuis le faite qui supporte les hautes cimes du Mont-Blanc, du Mont-Cervin et du Mont-Rose, et dont l'élévation générale est de 3500 mètres, jusqu'aux plaines du Piémont et de la Lombardie, est de  $3\frac{3}{4}$  degrés. Mais, comme cette inclinaison générale se compose d'un grand nombre d'inclinaisons particulières, à cause de la forme très-ondulée des versants, même en suivant toujours la crête d'un rameau, il faut monter et descendre alternativement des pentes bien plus fortes que celles que nous venons d'indiquer, avant d'atteindre le faite (1).

Les deux versants d'une chaîne ne sont que

---

(1) Je remarquerai qu'une pente est déjà forte, lorsqu'elle a de 7 à 8° ; c'est le *maximum* pour les voitures : qu'elle est très-rapide à 15 ou 16° ; c'est le *maximum* pour les bêtes de somme : qu'à 35° l'homme ne peut y monter sans entailler des gradins ; et que M. de Humboldt regarde comme impraticable, même à l'aide de gradins, celle qui a plus de 44°.



très-rarement inclinés d'une égale quantité ; presque toujours l'un est plus court et d'une pente plus rapide que l'autre. Ce fait est mis hors de tout doute par l'observation de la plupart des montagnes connues. Il a frappé les observateurs, et ils ont cherché la loi à laquelle il pouvait être soumis. En rassemblant les observations faites à cet égard, Bergmann a conclu que, dans les chaînes dirigées du nord au sud, le versant occidental était le plus abrupte, et que c'était le versant méridional, dans les chaînes dirigées de l'est à l'ouest (1) ; mais cette règle présente bien des exceptions. M. Andreossy, dans des observations sur la topographie de la France méridionale, qui le conduisent à une détermination raisonnée de l'emplacement du canal de Languedoc ; et qu'il a consignées dans son bel ouvrage sur ce canal (tom. 1.<sup>er</sup>, pag. 31) ; M. Andreossy, dis-je, remarque que, toutes les fois qu'une chaîne de montagnes se trouve sur un plan de pente (tels sont le Jura, les Vosges, les Cevennes, situés sur le plan de pente qui descend des Alpes à l'Océan), le versant tourné vers la partie supérieure du plan est le plus abrupte ; il le nomme *contre-pente*, par opposition à l'autre versant, qui, étant incliné dans le sens de la pente géné-

---

(1) Voyez un mémoire de Kirwan, à ce sujet, dans la *Bibliothèque britannique*, tom. 16.

rale du terrain, porte le simple nom de *pente*. Les observations de Saussure sur les Alpes rentrent dans ce fait général. « Les chaînes  
« intérieures, dit ce savant, tournent le dos  
« à la partie extérieure des Alpes, et présen-  
« tent leur escarpement à la chaîne centrale. » Après avoir remarqué qu'il se présente cependant quelques exceptions, ce judicieux observateur ajoute : « Mais il suffit que la structure  
« de la plus grande partie des montagnes soit  
« conforme à cette loi, pour qu'elle mérite  
« l'attention des géologues; et nous en ver-  
« rons dans la suite des confirmations très-  
« nombreuses (§. 282). » Il remarque encore (§. 281) que, dans les montagnes formées de couches inclinées, la pente la plus douce est ordinairement celle qui est dans le sens de l'inclinaison. J'ai vu fréquemment la confirmation de ce fait.

Le même observateur avait encore remarqué que les montagnes qui entourent le lac de Genève ont leur escarpement, c'est-à-dire leur versant le plus abrupte, tourné vers le lac. Celles qui bordent les lacs de Constance, de Lucerne, le lac Majeur, présentent le même fait. On le voit encore répété par les chaînes qui ceignent la Méditerranée : les montagnes de l'Espagne, les Pyrénées, les Cévennes, les Alpes, les montagnes de la Grèce, de l'Asie mineure, de la Syrie, et enfin l'Atlas, ont une pente beaucoup plus

rapide vers cette mer que dans le sens opposé (1). J'ai retrouvé encore cette même circonstance autour de plusieurs grands bassins entourés de montagnes : la Bohême, qui n'est qu'un pareil bassin de forme presque circulaire, en fournit un exemple ; la très-large vallée, ou bassin, qui renferme l'Alsace, le Brisgau et le pays de Bade, en offre un semblable, les Vosges et la Forêt-Noire y tournant leur escarpement vers l'intérieur.

M. Malte-Brun citerait encore *la grande mer des Indes*. Il fait, au sujet des terres qui la bordent, une remarque qui mérite d'être rapportée : c'est certainement celle qui a été faite sur une plus grande étendue de terrain, relativement à la direction des escarpements. Ce géographe se place au midi de la terre de Diémen ; de là, il porte ses regards sur la suite de chaînes ou de terrains qui bordent la mer du Sud, depuis le cap de Bonne-Espérance jusqu'au cap Horn, en longeant la côte orientale de l'Afrique, la côte méridionale et orientale de l'Asie, et la côte occidentale de l'Amérique ; et partout il voit l'escarpement des montagnes et des terrains tourné vers cette mer, tandis que la pente est douce et alongée vers l'intérieur des terres. (2)

§. 28. Les rameaux n'étant, en quelque sorte, que de petites chaînes, tout ce que nous avons dit sur les chaînes proprement dites, peut leur être appliqué ; en conséquence, nous nous bornerons aux considérations suivantes.

Des  
rameaux.

(1) M. Ramond avait déjà remarqué cette plus grande inclinaison des pentes vers la Méditerranée. Voyez ses *Observations dans les Pyrénées*, chap. XVI.

(2) *Précis de Géographie*, tom. 2, page 284.

La crête des rameaux, prise dans son ensemble, baissé depuis le faite de la chaîne jusqu'à son pied ; mais cet abaissement est loin d'être uniforme : habituellement la crête se maintient long-temps à une grande hauteur, et ce n'est qu'à une distance plus ou moins considérable du faite qu'elle baisse rapidement. De plus, en descendant du faite au pied de la chaîne, elle éprouve souvent, même dans ses parties éloignées, des relèvements considérables, qui donnent lieu à des cimes dont la hauteur surpasse quelquefois celle de la crête à son point de départ.

On voit assez souvent des rameaux dépasser le pied général de la chaîne, et se porter en avant dans les plaines ; ce sont des *bras de montagnes*. Lorsqu'ils s'avancent dans la mer et qu'ils s'y terminent brusquement, leur extrémité devient un *cap* ou un *promontoire*. Quelquefois ils sont si considérables, qu'ils forment eux-mêmes de vraies et grandes chaînes de montagnes : tels sont les Apennins, que l'on peut considérer comme un bras que les Alpes étendent vers le midi.

D'autres fois, au contraire, un des rameaux de la chaîne, au lieu de s'avancer plus que les autres, reste en arrière, et laisse ainsi un espace vide entre les extrémités des deux rameaux qui sont à sa droite et à sa gauche. Si la mer baigne le pied de la chaîne, elle entrera dans le vide et y formera un *golfe*.

lequel étant abrité par les deux côtés pourra être un bon port. M. Androssy, qui a le premier remarqué ce fait, en donne une ingénieuse application à la formation du port de Constantinople. (*Voyage à l'embouchure de la mer Noire.*)

§. 29. Les vallées principales d'une chaîne, Des vallées. ainsi que nous l'avons observé, sont celles qui prennent naissance vers le faite et qui descendent, à peu près perpendiculairement à sa direction, jusqu'au pied : elles sont placées en travers de la chaîne, et sont nommées en conséquence *vallées transversales* par quelques auteurs (1). Elles reçoivent de droite et de gauche, et presque perpendiculairement à leur direction, ou, plus exactement, sous un angle en général peu aigu, les vallées du second ordre, ainsi que les gorges comprises entre les contre-forts des rameaux voisins ; ces dernières vallées reçoivent à leur tour les gorges ou vallées du troisième ordre placées entre les contre-forts du second ordre, ou rameaux du troisième. De plus, la vallée principale, vers son extrémité supérieure, se divise et sous-divise successivement en un plus ou moins grand nombre de vallons, gorges

(1) Saussure donnait, par opposition, le nom de *vallées longitudinales* à de grandes vallées parallèles à la chaîne ; il citait pour exemple la vallée du Rhône au-dessus du lac de Genève. Mais Saussure parlait des Alpes, qui ne sont pas une chaîne telle que nous la décrivons ici, mais bien une grande masse de montagnes, composée de chaînons ou de chaînes particulières.

et ravins, qui finalement se perdent dans des plis de terrain, lesquels vont ensuite mourir à une plus ou moins grande distance du faite. Les vallées des ordres inférieurs présentent des faits semblables dans leur extrémité : de sorte qu'une grande vallée peut être comparée à la tige de certains arbres, dont les branches représenteraient les vallées d'ordres inférieurs, et dont les petites ramifications, qui sont à l'extrémité des tiges et des branches, offriraient une image des divisions et sous-divisions que nous avons vues exister à la naissance des vallées.

Le fond d'une vallée, c'est-à-dire son thalweg, s'élève à mesure qu'on approche du faite; mais cette élévation est bien loin d'être uniforme et graduelle. Presque toujours l'inclinaison est faible et assez uniforme jusque vers les ramifications qui sont à l'extrémité supérieure; mais là elle augmente considérablement : souvent on ne peut s'élever vers le faite que par une pente très-rapide et quelquefois même presque verticale; alors la vallée semble se terminer tout-à-coup vis-à-vis un escarpement à pic. S'il s'élargit et prend une forme arrondie, il présentera comme un *cirque* d'une grandeur quelquefois très-considérable. Parmi ceux qu'on voit dans les Alpes, je citerai celui qui termine la vallée d'Anzasca, au pied du Mont-Rose : c'est un bassin presque circulaire, de deux

lieues de diamètre, et dont les parois s'élèvent verticalement à plus de deux mille mètres de hauteur (*Sauss.*, §. 2140). C'est encore à des cirques de ce genre que se termine, dans les hautes Pyrénées, la vallée du Gave de Pau, au pied des *tours de Marboré* d'une part, et au pied de la *tour des Aiguillons* de l'autre.

Au-dessous de ces grands cirques, en descendant le cours des eaux, les vallées se resserrent, pour s'élargir et se resserrer ensuite consécutivement, une ou plusieurs fois, avant d'atteindre la plaine; car il y a peu de vallées, surtout parmi les grandes, qui ne présentent, dans une partie de leur longueur, une suite d'étranglements et de renflements: ils y forment souvent comme une suite de grands bassins rangés par étages les uns au-dessus des autres, et ne communiquant d'ordinaire que par d'étroites conpures. Saussure en a signalé cinq dans la vallée du Rhône depuis son origine jusqu'à Genève. La grande et belle vallée d'Aoste m'en a présenté trois: le plus considérable a 1800 mètres de large; les deux autres n'en ont que 600; et les étroites échancrures par lesquelles la Doire passe de l'un à l'autre, ont à peine quelques mètres de large. La vallée du Nil, dans la haute et moyenne Égypte, n'est qu'une suite de pareils bassins, d'après M. Rosières.

Au reste, ces renflements n'empêchent pas

que les flancs de la plupart des vallées, dans une grande partie de leur cours, et malgré leurs nombreuses sinuosités, n'affectent un parallélisme vraiment remarquable; de manière que, lorsqu'un d'eux forme un angle saillant, l'autre présente, à la partie opposée, un angle rentrant dans lequel le premier semble s'emboîter. Cette *correspondance entre les angles saillants et rentrants* dans les vallées, remarquée d'abord par Bourguet, et donnée par quelques savants comme la clef de la théorie de la terre, a été peut-être trop généralisée; mais il n'en est pas moins très-positif qu'elle se retrouve à chaque pas qu'on fait dans les montagnes, et qu'elle ne peut manquer d'y frapper tout observateur. Plus des trois quarts des vallées que j'ai vues me l'ont présentée; et ce n'est guère que dans les grandes et larges vallées que le parallélisme a disparu, pour faire souvent place à l'alternative de renflements et d'étranglements.

La direction des vallées, ainsi que nous l'avons vu, est, à très-peu près, perpendiculaire au faite ou à la crête des chaînes et rameaux qui les présentent: c'est une conséquence de ce principe général, que *les vallées, dans leur ensemble, et abstraction faite des déviations dues à des circonstances locales, sont dirigées suivant la ligne de plus grande pente du plan sur lequel elles se trouvent.*



Ce principe, vu les très-fréquentes déviations dont nous venons de faire mention, doit être pris avec la même latitude que cet autre, qui n'en est qu'un corollaire, et qui est admis par tous les géographes; savoir: que les fleuves, vers leur embouchure, ont une direction perpendiculaire à la côte de la mer qui les reçoit. Par suite du principe posé, dans le milieu des chaînes, le faite étant horizontal (en faisant abstraction de ses ondulations, lorsqu'elles n'altèrent pas sensiblement la direction des versants, objet principal), les vallées doivent lui être perpendiculaires; et c'est ce qui a effectivement lieu. Mais aux extrémités, lorsqu'il baisse définitivement jusqu'au pied, pour ne plus se relever, les vallées, en conséquence du principe ci-dessus, doivent aller en divergeant autour du point où commence l'abaissement (comme des lignes droites sur une surface conique); elles ne sont plus perpendiculaires au faite, et peuvent même lui devenir parallèles. Les Pyrénées présentent un exemple très-remarquable de ce fait, à leur extrémité orientale; on y voit les vallées de la Teta, du Tech, de la Mouga, etc., former comme une patte d'oie dirigée, dans son ensemble, de l'ouest à l'est, à peu près comme la chaîne. M. Andreossy, prenant ce fait dans un sens inverse, observe que, lorsque des vallées sont ainsi disposées, la chaîne à laquelle elles

appartiennent est à sa fin. « Dans le cours de sa direction, une chaîne ne peut laisser écouler ses eaux que par ses pentes latérales; lorsqu'elle en verse dans le sens de sa longueur, c'est une preuve qu'elle se termine en cet endroit, » dit-il dans le 35.<sup>e</sup> des aphorismes sur la géographie physique, placés en tête de son *Voyage à la mer Noire*.

Des cimes. §. 30. Les cimes, dans les chaînes ou masses de montagnes, sont des protubérances qui s'élèvent brusquement sur un faite ou sur une crête, au-dessus des parties adjacentes : elles peuvent ainsi être regardées comme produites par tout brusque relèvement du faite et de la crête.

D'après cela, il semble que c'est sur le faite principal que doivent se trouver les plus hautes; cela est effectivement vrai en général, ainsi qu'on le voit dans les Vosges, dans les Alpes Pennines, etc. : c'est exactement sur le faite de ces dernières que sont les cimes formant le Mont-Blanc, le Mont-Cervin et le Mont-Rose. Mais souvent aussi les sommités les plus élevées, telles que le Mont-Perdu et la Maladetta, dans les Pyrénées, ne sont plus exactement sur le grand faite ou ligne de partage des eaux; elles en sont à une certaine distance, fort petite à la vérité.

Les cimes placées sur les grands rameaux sont quelquefois comme des nœuds auxquels

se rattachent deux ou trois rameaux secondaires ou contre-forts.

C'est principalement de la forme des cimes que dépend l'aspect général des chaînes. Chaque chaîne en a une qui lui semble particulière, et qui est comme caractérisée par le nom qu'elle porte, suivant l'observation de Dolomieu : c'est ainsi que, dans les Alpes, des cimes aiguës, semblables à d'immenses obélisques, y sont connues sous le nom d'*aiguilles*; que dans les Pyrénées on a des *pics* ou d'énormes masses de rochers présentant de toutes parts des faces escarpées; que dans les Vosges on a un grand nombre de *ballons* ou cimes de forme arrondie (1).

Ces diverses formes tiennent beaucoup à la nature minéralogique des montagnes qui les présentent, ainsi qu'à la position des couches. C'est principalement dans les parties granitiques ou primitives et à couches verticales, que les Alpes présentent ces hautes crêtes déchirées de toutes parts, portant, comme une énorme dentelure, des suites de pyramides ou aiguilles gigantesques; objets qui constituent en quelque sorte le caractère alpin des montagnes : c'est encore dans les granites du Haut-Vivarais que l'on voit des montagnes décharnées, d'immenses pans de murailles terminés par des arêtes tran-

---

(1) *Journal des mines*, n.º 40.

chantes, et comprenant entre eux d'horribles précipices. Les Pyrénées, formées d'un mélange de granite et de schistes granitiques, auront des cimes plus arrondies et plus plates : de là les nombreux pics et les grands plateaux ou longues terrasses qui y règnent souvent au-dessus des hautes sommités. Les montagnes de la Saxe, consistant en gneiss tendres et en schistes phyllades, présenteront presque partout des pentes douces, et ne seront en quelque sorte qu'un terrain mollement ondulé : de loin à loin, quelques masses porphyriques élèveront une tête arrondie, et quelques plateaux basaltiques se porteront à deux ou trois cents mètres au-dessus du sol environnant. Les Cevennes, formées de calcaire en couches horizontales, ne présentent presque partout qu'une suite de plateaux ; elles ne sont en quelque sorte qu'une grande masse découpée, par les vallées et vallons qui les traversent, en masses plus petites, prismatiques, et dont la partie supérieure est plate et horizontale.

La forme des cimes, ou plutôt l'aspect des montagnes, dépend aussi de leur hauteur : plus une crête sera élevée, plus les découpures pourront y être profondes.

Des cols.

§. 31. De même que l'on peut regarder les cimes comme produites par tout brusque exhaussement du faite, les cols seront considérés comme l'effet d'un abaissement notable et assez subit du même faite.

Étant ainsi les parties les plus basses sur la ligne des sommités d'une chaîne, ils seront les points de passage ou de communication entre deux contrées séparées par cette chaîne. Malgré leur position inférieure par rapport aux parties voisines, ils ne laisseront pas que d'être quelquefois à une hauteur absolue très-considérable; c'est ainsi que les cols du *Brenner* entre *Inspruck* et *Brixen*, et celui du *Saint-Gothard*, seuls passages entre l'Allemagne occidentale et l'Italie, sont, l'un à 1420, et l'autre à 2075 mètres au-dessus de la mer. Les plus fréquentés, lorsqu'on va de France en Italie, sont le grand *Saint-Bernard*, élevé de 2500 mètres, le petit *Saint-Bernard* ayant 2200 mètres, le *Mont-Cenis* de 2060 mètres. Dans les Pyrénées, entre les deux routes percées à leurs extrémités, on n'a point de passage plus bas que le col de *Puymorens*, aux sources de l'*Arriège*, et il est encore à 1920 mètres. Dans les Andes, à l'est de *Popayan*, le passage sur le *Paramo* de *Guanacas* a 3760 mètres, et celui d'*Assuay*, entre les villes de *Quito* et de *Cuença*; en a 4042, d'après M. de *Humboldt*.

§. 32. Nous ne saurions quitter la description des chaînes de montagnes, sans faire une mention particulière des bassins qu'on y voit si souvent et dont nous avons déjà dit quelques mots, §. 29. Plusieurs sont remplis d'eau, et forment des lacs dont le trop-plein s'é-

Bassins et lacs dans les montagnes.

\*

coule par des issues ou coupures fort étroites. Un grand nombre de ceux qui sont aujourd'hui à sec, paraissent avoir été remplis dans des temps reculés.

C'est au pied des chaînes et plus souvent encore vers leur faite, c'est-à-dire à l'extrémité la plus élevée des vallées, tout près des cols, que se trouvent ces bassins et ces lacs.

Cette dernière situation est très-remarquable. Sur les Alpes, les trois grands passages de France en Italie, le Mont-Cenis, le petit Saint-Bernard et le grand Saint-Bernard, présentent, presque à leur point culminant, des lacs qui, à cette hauteur, ne manquent jamais de fixer l'attention du voyageur. Le premier a plus d'une demi-lieue de longueur : le dernier présente un contour de trois à quatre mille mètres; quant à sa profondeur, elle est inconnue. Il y en a plusieurs autres, dans ces mêmes montagnes, à une hauteur égale. Les bassins non remplis d'eau sont également très-nombreux sur les Alpes. Je ne citerai que celui qui m'a le plus frappé, et qui est en même temps le plus considérable de ceux que j'ai observés à de grandes hauteurs; il est dans le pays d'Aoste, à l'extrémité supérieure du *Val-Savaranche*, presque sur la crête des montagnes, à 2400 mètres d'élévation : c'est une petite plaine parfaitement unie, de forme ovale, ayant deux à trois mille mètres de long et mille de large, ceinte

par des hauteurs peu considérables. Elle présente un beau pâturage, sur lequel il y a comme un village de chalets; on y arrive par un défilé étroit et resserré entre deux rochers: tout indique que cette grande prairie était jadis le fond d'un lac qui a rompu ses digues, et dont les eaux se sont écoulées par ce passage. Les Pyrénées présentent des faits semblables: on voit, tout le long de leur faite, une suite innombrable de petits lacs, d'où sortent les premiers affluents des rivières et torrents qui coulent dans ces montagnes: le reste de la chaîne n'en présente presque plus. Le même phénomène se répète dans les Andes d'Amérique: le lac de Mica, sur le plateau de l'Antisana, est à 4000 mètres de hauteur, et tout le monde sait que Mexico est au milieu d'un lac, sur le dos des Cordillères.

Dans l'intérieur des Alpes on en voit quelques-uns, même d'une étendue assez considérable, et à des niveaux peu élevés; mais c'est à leur pied, à des hauteurs qui n'excèdent pas 500 mètres, et qui descendent même jusqu'à 200, que ces montagnes présentent les plus grands, tels que les lacs de Constance, de Genève, de Côme, le lac Majeur, etc.: elles semblent en être entourées.

Ces divers lacs ne sont souvent que le fond de bassins beaucoup plus considérables, qui se rempliraient encore d'eau jusqu'à une grande hauteur, si un passage, par lequel le trop-plein se vide, était obstrué.

Nous avons déjà remarqué que, dans les vallées de l'intérieur des chaînes de montagnes, plusieurs bassins sont souvent placés immédiatement à la suite les uns des autres : cette même disposition se voit dans les grandes vallées des fleuves, loin du centre des masses de montagnes. C'est ainsi que le Rhin, après être sorti du bassin au fond duquel est le lac de Constance, entre dans celui qui s'ouvre à Bâle, qui comprend l'Alsace, le Brisgau, le pays de Bade, et qui se referme au-dessous de Mayence près de Bingen ; là, les montagnes rapprochées ne laissent entre elles qu'un étroit passage semblable à une fente, dans laquelle coule le fleuve jusqu'à Bonn, où commencent les grandes plaines qu'il arrose et dans lesquelles il se divise et se perd en quelque sorte avant d'arriver à la mer.

Les grands lacs de l'Amérique septentrionale sont encore une suite de bassins pleins d'eau et traversés par le fleuve Saint-Laurent.

Quelques-uns des lacs qu'on voit dans les chaînes de montagnes offrent un phénomène singulier, dont je fais mention. Dans leur état ordinaire, les eaux y arrivent par plusieurs affluents ; elles s'y maintiennent à une certaine hauteur, et leur trop-plein s'écoule par des conduits souterrains ; mais tout à coup, et sans une cause apparente, on les voit disparaître, et laisser le bassin à sec pendant



quelque temps, au bout duquel elles reviennent de nouveau. Tel est le fameux lac de Czirkniss en Carinthie : pendant trois, quatre ans, il reste plein, et les habitants du pays y vont à la pêche; ensuite les eaux se retirent, ces mêmes habitants vont en cultiver le fond, et ils en obtiennent de riches moissons, jusqu'à ce qu'ils en soient chassés par les eaux et contraints d'aller de nouveau chercher leur subsistance à sa surface. Il faut observer que ces lacs sont dans des terrains calcaires, et qu'il est très-vraisemblable que les grottes ou cavernes qui y abondent, donnent lieu à ces phénomènes, soit par l'obstruction ou l'ouverture de quelques-uns de leurs conduits, soit par des dispositions analogues à celles des siphons, et qui produisent une évacuation totale lorsque les eaux ont atteint un certain niveau; phénomène qui serait alors de même nature que celui des fontaines intermittentes.

*Rapports des chaînes entre elles.*

§. 33. Rarement une chaîne de montagnes se présente-t-elle isolée comme celle que nous venons de décrire, et même comme se présente celle des Pyrénées que nous avons souvent citée. Presque toutes tiennent plus ou moins aux chaînes voisines; elles sont des parties d'une même suite ou d'un même système d'inégalités, et les limites que nous leur

Liaison des chaînes entre elles.

assignons, en les distinguant les unes des autres, ne sont, le plus souvent, que des limites de convention.

Pour bien voir les choses dans toute leur réalité, et afin de fixer nos idées, prenons un exemple : ce sera notre ancien continent, abstraction faite de l'Afrique. Nous le verrons traversé dans sa plus grande dimension, et à peu près de l'est à l'ouest, par une de ces énormes rides ou ondulations, que nous avons dit (§. 23) être les inégalités principales et primitives du globe terrestre, et qui, par la diverse manière dont elles ont été découpées ou sillonnées, ont produit nos chaînes de montagnes.

Considérons d'abord la partie de cette bande élevée, située en Europe, entre l'Océan et la mer Noire. Sa partie centrale est vers les sources du Rhin et de l'Inn : à partir de cette contrée, elle baisse dans tous les sens, abstraction faite de quelques relèvements partiels ; elle baisse au nord vers la Hollande et la mer Baltique, à l'est vers la mer Noire, et à l'ouest vers l'Océan atlantique. Toutes ces pentes sont découpées, par les lits des fleuves, en diverses chaînes qui appartiennent évidemment au même système, celui des Alpes : elles se rattachent, directement ou indirectement, par leur faite à la contrée centrale. C'est ainsi que le Jura est regardé par Saussure (*Sauss.*, §. 350), et par la plupart des géographes, comme une dépendance des Alpes suisses ; que les Vosges tiennent au Jura, et que les Ardennes tiennent aux Vosges : les Cévennes, formant en quelque sorte un étage pour s'élever aux grandes Alpes, leur sont *subordonnées*. La suite des chaînes qui bordent le Danube au nord, laquelle semble faire un système particulier, tient à la suite de celles qui sont au sud, laquelle forme le système alpin proprement dit, par les montagnes de la Haute-Souabe, au milieu desquelles ce fleuve prend sa source. Les contrées, points ou plateaux, auxquels se réunissent ainsi les diverses chaînes d'un même système, sont les *nœuds* du système ; et les grandes vallées qui en partent, qui séparent les chaînes, et dans lesquelles coulent ordinairement des fleuves, ne sont plus du

même ordre que celles qui découpent les chaînes en rameaux, elles sont d'un ordre majeur ; ce sont les *vallées principales* des régions, les *vallées longitudinales* de Saussure : telles seraient, dans notre exemple, celle du Danube en premier rang, et celles du Rhin et du Rhône en second. Au reste, les traits qui dans l'origine unissaient des chaînes, peuvent s'être oblitérés et effacés : il paraît que c'est le cas pour le Jura, dépendance manifeste des Alpes, et qui en est maintenant presque entièrement séparé.

Si de l'Europe nous passons en Asie et que nous y suivions la grande bande élevée, nous la verrons, vers les monts Himmalaya, au nord de l'Inde, éprouver un renflement qui la porte au-dessus de tous les autres points du globe, et qui lui donne, sur le faite, une largeur d'environ trois cents lieues : c'est ce qu'on nomme communément le *grand plateau de la Tartarie*. Tout autour, le terrain baisse graduellement : au nord, vers la mer Glaciale ; à l'est, vers l'océan de la Chine ; au sud, vers la mer des Indes, et à l'ouest, vers la mer Caspienne. Ces versants, au moins les trois premiers, sont sillonnés, à peu près dans le sens de leur plus grande pente, par les fleuves qui se jettent dans les mers que nous venons de nommer ; et les massifs qui restent entre ces sillons, découpés eux-mêmes par des sillons du second, troisième, etc., ordre, forment comme autant de grandes chaînes qui se réunissent au plateau, lequel, comme un énorme nœud, les lie entre elles.

Voilà un seul système, une seule masse de montagnes, la plus grande de celles qui existent sur notre globe : toutes les chaînes qu'elle présente ne sont que les parties d'un même tout. Cependant elles sont à de si énormes distances (car il y a mille lieues des montagnes de l'Indostan aux chaînes qui sont en Sibérie, entre le Jenissei et la Lena), qu'il a fallu les considérer et les décrire séparément ; il a fallu en quelque sorte rapprocher la nature de la faiblesse de nos moyens, et, par de simples raisons de convenance, nous avons établi souvent des divisions et des séparations là où il n'en existait pas en réalité.

Limites entre les diverses chaînes.

§. 34. Nous dirons, en définitive, qu'une chaîne est séparée d'une autre,

1.° Par des mers interposées : c'est ainsi que l'extrémité des Alpes d'Europe, ou le mont Hæmus, est séparée du Caucase par la mer Noire. Ici, la limite est naturelle; mais encore elle n'est pas toujours réelle en rigueur absolue, car il serait bien possible qu'un faite se continuât d'une manière prononcée sous les eaux. Buache a peut-être trop généralisé ces enchainements sous-marins, ainsi que nous le verrons bientôt; mais il n'en est pas moins très-probable qu'ils ont lieu quelquefois.

2.° Par les *vallées principales* qui ont leur origine au nœud d'un système de montagnes (§. 53) : c'est ainsi que les Cevennes sont séparées des Alpes françaises par la vallée du Rhône; que les Vosges le sont de la Forêt Noire par la vallée du Rhin.

3.° Par des plaines placées entre les extrémités ou entre les pieds de deux chaînes : c'est ainsi que les Alpes noriques (celles du Tyrol) sont séparées du *Bœhmerwald* et des autres montagnes qui entourent la Bohême, par les plaines de la Bavière; que les petites montagnes de la Bretagne sont séparées des Vosges et des Ardennes par les plaines de la Beauce, de l'Isle-de-France, etc.

4.° Par des collines interposées : les Vosges sont séparées de cette sorte du Jura. Les Py-

rénées le sont de la même manière des Cevennes, ou d'un de leurs appendices, la Montagne-Noire, située au nord de Carcassonne : les collines placées entre cette montagne et le pied des Pyrénées n'ont pas plus de 200 mètres au-dessus de leur pied, et de 500 à 400 au-dessus de la mer. La ligne de séparation entre le système des Alpes et les Pyrénées serait la vallée du canal de Languedoc, ou plutôt les vallées dans lesquelles ce canal est tracé. Ceux qui n'admettraient point ici de séparation, verraient la jonction des deux systèmes se faire au col de Naourouse, point de partage du canal, et élevé de 189 mètres seulement au-dessus de la mer.

5.<sup>o</sup> Par une coupure du faite : elle est indiquée par les courants d'eau qui traversent la chaîne dans cette partie. L'on a un exemple de ce cas dans le passage resserré par lequel le Rhône sépare, près le fort de l'Écluse, le Jura des Alpes françaises. On en a un autre dans le défilé étroit par lequel le Danube sort du Bannat pour entrer dans la Valachie, défilé connu sous le nom de *Portes de fer*, et qui termine la chaîne de montagnes qui sépare ce dernier pays de la Transylvanie. Un grand nombre de ces coupures sont en quelque sorte accidentelles et postérieures à la formation des montagnes; elles les partagent au milieu de leur cours, et n'en sont pas ainsi les extrémités les plus naturelles :

aussi Saussure observe-t-il que le Mont-Vouache, situé sur la gauche du Rhône, n'est en réalité qu'une suite du Jura, situé sur sa droite.

Quelquefois encore on met parmi les caractères qui distinguent une chaîne d'une autre, le changement total et permanent dans la direction du faite. Les Alpes françaises, du Mont-Blanc à la Méditerranée, sont distinguées des Alpes du Valais par un pareil changement de direction, quoiqu'elles forment d'ailleurs une masse continue; mais les premières se dirigent du nord au sud, et les secondes de l'ouest à l'est, ou plutôt de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est.

Je le répète, la nécessité de distinguer par des noms différents et de considérer séparément les montagnes des différents pays, nous a contraints de prendre des limites; et on a cherché à les prendre, autant que possible, dans la nature.

Direction  
générale  
des chaînes.

§. 35. Quelques géographes ont cru remarquer que les grandes chaînes affectent plus particulièrement une direction parallèle à l'équateur; d'autres, au contraire, ont pensé qu'elles étaient plus souvent dirigées dans le sens des méridiens. Buffon, conciliant les deux opinions, admettait que la direction des montagnes est du nord au sud dans le nouveau continent, et de l'est à l'ouest dans l'ancien.

Mais il me semble que cette direction présente un fait plus étendu et plus positif, indépendant de toute considération des méridiens et des parallèles : *c'est qu'en général la direction des chaînes est dans le sens de la plus grande dimension des îles, presque îles ou continents, qui les renferment.* Ce fait, je puis dire ce principe, me paraît fondé dans la nature même des choses. En effet, à partir des bords de la mer, le sol des masses de terre s'élève graduellement en avançant vers l'intérieur : par conséquent, si la masse est allongée, on aura deux grands plans de pente qui se réuniront par leur partie supérieure en une ligne ou faite dirigé dans le sens de la plus grande longueur. L'élévation du sol, il est vrai, pourra être d'un des deux côtés, en tout ou en partie, plus grande que de l'autre : il en résultera alors qu'un versant sera plus incliné que l'autre, et que le faite présentera des inflexions et des sinuosités ; mais il sera toujours, dans son ensemble, parallèle à la longueur de l'île, et il sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus long, que la longueur de l'île sera plus grande par rapport à sa largeur. Si les deux dimensions étaient égales, et par conséquent si l'île approchait de la forme circulaire, la masse du terrain présenterait une figure conique plus ou moins tronquée, et le faite pourrait n'être qu'un point : ce fait se remarque effectivement

dans quelques petites îles de peu d'étendue, et qui ne forment en quelque sorte qu'une montagne isolée au milieu des mers.

Mais le fait général, que la direction des chaînes est parallèle à celle de la masse de terrain qui les renferme, se voit continuellement à la surface de la terre ferme. C'est ainsi que, dans la presqu'île italienne, le faite des Apennins est tout-à-fait parallèle aux côtes de la mer; que, dans la contrée alongée formant le sol de la Scandinavie, les chaînes du *Dovre-Field* et *Lang-Field*, qui longent toute la contrée, ont la même direction qu'elle. Les Cordillères des Andes présentent d'une manière remarquable le même parallélisme entre leur faite et la longueur du nouveau continent. Dans l'ancien, en faisant toujours abstraction de l'Afrique, le système général des montagnes, c'est-à-dire la grande bande élevée dont nous venons de parler, §. 33, a une même direction que le continent; et les chaînes qui lui sont perpendiculaires ou obliques, peuvent être regardées comme d'énormes rameaux ou bras qu'elle pousse à droite et à gauche.

#### ART. 2. *Des collines.*

§. 36. Les collines diffèrent principalement des montagnes par leur moindre élévation, qui n'excède guère deux ou trois cents mètres au-dessus de leur pied.



Ce que nous avons dit sur les chaînes de montagnes et sur leur disposition respective, est applicable aux chaînes de collines : nous observerons cependant que celles-ci sont moins régulières et moins bien caractérisées que les premières : leur direction n'affecte plus la même constance, et en général on peut dire que les collines forment moins des chaînes que des groupes qui occupent souvent des espaces d'une étendue considérable.

Il en est surtout ainsi des basses collines; leurs groupes s'étendent presque autant en largeur qu'en longueur : on n'y voit rien de constant dans la direction ; il n'y a plus de faite général, ce n'est qu'une surface mamelonnée ; ce sont les dernières ondulations d'un pays montueux, celles par lesquelles il se perd dans les plaines.

#### ART. 3. *Des plaines.*

§. 37. Les plaines, en prenant ce mot dans une acception étendue, ne présentent pas partout une surface entièrement plane ; quelques-unes de leurs parties sont plus ou moins ondulées ; et lorsque ces ondulations sont fortes, elles forment des coteaux et des rideaux souvent assez considérables pour donner au pays qui les présente un aspect légèrement montueux ; quelquefois elles se prolongent à de grandes distances, et présentent ainsi, au milieu d'un pays plat,

Plaines ordinaires.

des *arêtes* de plusieurs lieues de longueur, qui font ordinairement partie de la ligne de séparation entre deux bassins de rivières ou cours d'eau limitrophes.

De plus, les fleuves et les rivières, qui traversent les plaines, y occupent des lits ou espaces, plus ou moins profonds et plus ou moins larges, qui en interrompent la continuité. Ils forment au milieu d'elles comme d'autres plaines, d'un niveau inférieur, ayant ordinairement peu d'étendue en largeur, et renfermant l'encaissement du fleuve vers leur milieu. Ces plaines basses, ces vallées des plaines, si on peut s'exprimer ainsi, sont habituellement les parties les plus fertiles et les plus peuplées du pays : c'est principalement sur leur sol que s'établissent les villes et les villages.

Aux vallées ou encaissements des fleuves, aboutissent ceux des rivières; à ceux-ci se joignent les vallons des ruisseaux : les berges des uns et des autres présentent des échancrures en forme de gorges qui vont se perdre dans la plaine en se ramifiant. Lorsque ces diverses excavations (vallées, vallons, gorges) se multiplient, elles découpent le sol, le rendent inégal, mamelonné, et finissent assez souvent par en faire un pays de collines, ainsi qu'on le voit aux environs de Paris.

Des plaines  
élevées.

§. 38. Les plaines proprement dites n'appartiennent guère qu'aux régions basses de

nos continents : le peu qu'on en voit dans les régions élevées n'y sont, en quelque sorte, que de larges vallées : telles sont celles de la Bavière, par exemple. Cependant nous avons vu (§. 26) qu'à de très-grandes hauteurs, sur le faite même de hautes chaînes de montagnes, on trouve de grandes surfaces planes et horizontales : ce sont bien des plaines en stricte rigueur ; mais, afin de mettre plus de précision dans le langage, on les désigne sous le nom de *plateaux*, et on laisse celui de plaines aux terrains plats situés au pied des chaînes, ou à une petite élévation. Plateaux.

Entre les plaines des régions basses et les hauts plateaux des montagnes il est encore des surfaces en quelque sorte intermédiaires, et dont le morcellement donne lieu à des inégalités du sol qu'il est important de signaler. Qu'on se figure un terrain sous la forme d'un grand plan incliné, et que de loin à loin il s'y produise des sillons : la personne qui le traverserait dans ses parties élevées, obligée de descendre et de remonter dans des vallées de quelques centaines de mètres de profondeur, le trouverait certainement fort inégal ; et cependant elle n'y verrait point de montagnes, c'est-à-dire de parties fortement saillantes au-dessus du plan général de la surface ; car, les vallées et vallons n'existant que de loin à loin, leur volume serait peu considérable par rapport à celui

du terrain resté à sa primitive hauteur : les inégalités du sol ne seraient point ici des exhaussements du terrain, elles y seraient des enfoncements. Tel est à peu près le cas de la partie de la France comprise entre la Loire, la Garonne et le Rhône. A partir de l'Océan, cette région s'élève assez graduellement vers l'est-sud-est, jusqu'au faite des Cévennes, dans l'Ardèche et la Lozère, où elle atteint une hauteur de près de 1500 mètres : sa partie centrale, qui comprend le Limosin, le Quercy, l'Auvergne et le Rouergue, quoique très-morcelée, ne présente presque point de montagnes, abstraction faite des monts et produits volcaniques ; et cependant on y est quelquefois à une hauteur de près de mille mètres, et on y traverse des vallées de trois, quatre et cinq cents mètres de profondeur.

Bassins des  
rivières.

§. 39. Avant de terminer ce qui concerne les inégalités que présentent les continents, nous nous arrêterons un instant sur une considération à laquelle elles donnent lieu, et dont la géographie peut tirer un grand parti dans la fixation des limites de divers pays.

La surface des continents est sillonnée par un grand nombre de fleuves : chacun de ceux-ci reçoit les eaux qui tombent et coulent dans une certaine étendue de pays ou dans un district dont il occupe la partie basse, et le point où il se décharge dans la mer en est le point le plus bas. A mesure que le terrain s'éloigne

de l'embouchure et des bords du fleuve, il s'élève graduellement, en remontant les rivières et les ruisseaux qui portent les eaux au fleuve, jusqu'aux sources les plus élevées, et il atteint finalement le faite des versants des montagnes, collines et pays sur lesquels ces eaux sont tombées. Au-delà de ces faites, le terrain baisse, et les eaux qui coulent sur ces nouvelles pentes se rendent à d'autres fleuves et appartiennent à d'autres districts; de sorte que le district d'un fleuve est entouré et séparé de ceux des fleuves voisins, par une suite de faites, et comme par une ceinture de montagnes, de collines et d'arêtes : c'est un vrai *bassin*, ouvert, il est vrai, sur un de ses côtés.

Un fleuve étant alimenté par des rivières dont chacune reçoit les eaux d'un arrondissement ou district particulier, son bassin se divisera en *bassins de rivières*.

Un continent ainsi divisé et sous-divisé en bassins de fleuves et de rivières présenterait la division la plus naturelle. Philippe Buache est le premier qui l'ait introduite dans la géographie. Après avoir établi et développé ses principes à ce sujet (1), il en fit l'application à la France, et il donna la carte de ce royaume divisé en cinq grands bassins, ceux du Rhin, de la Seine, de la Loire, de la Garonne et du Rhône: il publia, quelque temps

(1) *Mémoires de l'Acad.*, 1752.

après, une carte du bassin de la Seine divisé en ses bassins de rivière. Cet exemple a été suivi par divers géographes. De pareilles cartes, faites avec le soin et l'exactitude convenables, seraient du plus grand intérêt pour la géographie physique, et pourraient même devenir fort utiles dans la géographie politique.

Observations relatives à la représentation des inégalités d'un terrain sur les cartes. §. 40. On peut abuser de tout; et les principes de Buache, outrés par quelques personnes, sont aussi devenus une cause d'erreur en géographie. Parce que les cours d'eau sont séparés par des faîtes, et que les faîtes des grandes chaînes séparent ordinairement des bassins de grands fleuves, quelques géographes en ont agi, dans la confection de leurs cartes, comme si, entre deux rivières, il devait toujours y avoir une chaîne de montagnes, et une chaîne d'autant plus considérable que le cours d'eau est plus grand. Par suite de ce prétendu principe, ils ont couvert de montagnes les sables du Brandebourg et les plaines de la Beauce, entre Paris et Orléans, etc. (1); comme si des rivières, et même de grands fleuves ne pouvaient pas être et n'étaient pas en effet séparés assez souvent, dans une partie de leurs cours, par des faîtes de quelques mètres d'élévation seulement : la Meuse et le Rhin, en Hollande, en fournissent un exemple.

L'examen des cours d'eau, vus sur une carte, peut bien faire connaître l'élévation respective de deux de leurs points, c'est-à-dire, indiquer que l'un est plus élevé que l'autre; mais il ne saurait rien apprendre sur leur élévation absolue, et encore moins sur celle des points non situés sur ces cours d'eau. En conséquence, toutes les cartes faites dans le cabinet, d'après des inductions de ce genre, ne peuvent que donner une fausse idée du terrain et de ses inégalités : celles-ci sont soumises à trop peu de règles, lesquelles sont elles-mêmes sujettes à trop d'exceptions, pour que leur connais-

(1) Voyez l'*Atlas de l'Encyclopédie méthodique*.

sance puisse jamais être donnée autrement que par l'observation directe.

Je remarquerai que les cartes de géographie faites sur une échelle de moins de  $\frac{1}{1000000}$ , ne sauraient représenter ces inégalités avec exactitude : les montagnes qu'on y marque, annoncent seulement qu'il existe de pareilles inégalités, mais sans pouvoir faire connaître la vraie disposition et la ramification de leurs parties. Cette connaissance ne peut être donnée que par des cartes dressées sur une plus grande échelle, c'est-à-dire, par des cartes de topographie : à cet effet, elles doivent représenter exactement les faîtes des montagnes ou collines, et de tous leurs rameaux ; des côtes, placées de distance en distance sur ces faîtes, ainsi que sur les thalwegs intermédiaires et sur les points saillants du terrain, en feront connaître l'élévation absolue. Il existe, il est vrai, un autre moyen propre à donner le figuré d'un terrain sur un simple plan, et d'en exprimer les contours et le relief : c'est d'y tracer la projection des intersections de ce terrain par une suite de plans horizontaux et équidistans, à un mètre, ou à dix, ou à cinquante mètres au plus les uns au-dessus des autres, selon la grandeur de l'échelle du plan, et selon l'objet auquel on le destine ; mais ce mode, quelque bon qu'il soit, exigeant un temps et un travail fort considérables, ne peut être usité que pour des terrains d'une petite étendue, et que pour quelque objet d'utilité spéciale, tel que le tracé d'un canal ou d'une fortification.

## SECTION II.

### *Des inégalités du fond de la mer.*

§. 41. Le fond ou lit de la mer n'est que le prolongement de la surface des continents au-dessous du niveau des eaux : étant de même nature, il doit présenter des inégalités semblables. Mais, comme il est dérobé à notre vue, que ce n'est que par des coups de sonde,

Observations  
générales.

ou par les rochers et les bancs qui s'élèvent au-dessus de l'eau, que nous pouvons juger de ses formes, nos connaissances, à cet égard, ne peuvent être que très-incomplètes ; elles ne peuvent même s'étendre qu'aux parties peu enfoncées, car la sonde n'a pas atteint plus de deux mille mètres de profondeur. D'après ce que nous avons dit dans les articles précédents, on peut conclure que les inégalités sont d'autant moins nombreuses et moins considérables, que la région qui les présente est moins élevée, et par conséquent que le fond de la mer est bien moins inégal que la surface des continents.

En général, le lit de la mer va en augmentant de profondeur à mesure qu'on s'éloigne des côtes ; et cette profondeur est assez ordinairement en rapport avec l'élévation du rivage adjacent : si ce rivage est bas et plat, il en sera de même du lit de la mer, ainsi qu'on l'observe sur les côtes de la Hollande ; si au contraire il est élevé, formé par des falaises comme sur les côtes de la Bretagne, la mer sera profonde ; cette profondeur sera considérable si les falaises sont de véritables montagnes, ainsi que cela a lieu dans la Grèce. *Généralement parlant, dit le fameux voyageur Dampier, tel est le fond qui paraît au-dessus de l'eau, tel est celui que l'eau couvre. (1)*

---

(1) Voyez des détails à ce sujet dans l'*Histoire naturelle de Buffon*, tom. 1.<sup>er</sup>, p. 442 et suiv.



§. 42. Les îles, ainsi que les écueils, sont les parties supérieures des régions élevées et des montagnes sous-marines : en les voyant réunies par groupes comme dans les Archipels, ou affectant certaines directions comme dans les petites Antilles, les Maldives, les Mariannes, etc., nous sommes fondés à conclure qu'il existe dans le fond de la mer quelques groupes et chaînes de montagnes.

Chaînes de  
montagnes  
sous-  
marines.

Philippe Buache a tiré de cette observation des conséquences ingénieuses, mais trop étendues. Il remarqua, ou crut remarquer, que les chaînes sous-marines connues, les bas-fonds, les écueils, etc., se trouvaient sur la direction des chaînes continentales; de sorte que celles-ci lui parurent se prolonger sous le niveau des eaux, et se relever ensuite sur les continents opposés. D'après cela, abstraction faite de l'eau qui couvre le globe, sa surface lui parut partagée en grands bassins entourés de chaînes ou arêtes saillantes qui les séparaient les uns des autres; et les bassins les plus bas, ou leurs parties les plus basses, étaient sous le niveau de la mer. Il donna une mappemonde dans laquelle tous ces bassins, et par conséquent les chaînes sous-marines, étaient tracés. Le principe qui lui servait de base n'était pas dénué de tout fondement, ainsi que nous l'avons vu; mais une partie des données d'après lesquelles il fit son travail n'étaient qu'hypothétiques, ou du moins déduites de bien faibles analogies.

§. 43. En parlant des inégalités que présente le fond de la mer, il ne faut pas oublier ces amas et forêts de coraux, madrépores et autres zoophytes, qui sont si abondants dans la zone équatoriale de la mer Pacifique : ils y forment une multitude d'îles,

Rochers et  
îles élevés  
par les zoo-  
phytes.

et les nombreux récifs ou écueils qui la rendent si dangereuse aux navigateurs. La majeure partie de cette innombrable quantité de petites îles et d'ilots, formant, dans la mer du Sud, les archipels qui s'étendent depuis les îles de la Sonde jusque dans les mers d'Amérique, ne sont, en tout ou en partie, que l'ouvrage de ces faibles animaux (1). Une portion du sol de la Nouvelle-Hollande leur doit également son existence. Vancouver rapporte que, vers le sud de ce pays, la terre est presque toute de corail : le sommet d'une des montagnes les plus élevées présente, d'après son rapport, un plateau dont le sol est de sable blanc; il en sort, dit-il, des branches de corail exactement pareilles à celles qu'on voit à la surface de la mer, et leur épaisseur varie depuis une ligne jusqu'à un ou deux pouces, et leur hauteur au-dessus du sol est de plus de trois pieds. Ailleurs, les produits de ces mêmes animalcules entourent, comme d'une circonvallation de récifs, les îles et les terres de cette partie du monde, et en défendent souvent l'approche aux navigateurs : leur travail s'accroît journellement, et hausse de plus en plus le fond de certaines rades. Ce sont souvent, d'après la Billardiére, d'immenses murailles ou colonnes

---

(1) *Mém. de Péron*, Journal de physique, tom. 59. *Voyages de Cook*.

que ces êtres presque imperceptibles ont élevées à plomb, depuis le fond de la mer jusqu'à sa surface, et dont quelques-unes ont plus de deux cents mètres de hauteur.

Ces prodigieux effets, produits par une cause si faible en apparence, sont bien faits pour étonner notre imagination et pour confondre nos raisonnements. Péron, après avoir rapporté que toute une partie de l'île de Timor, ainsi que les hautes montagnes qu'il a été à même d'y observer, est un produit des zoophytes, remarque qu'on peut voir sur les bords mêmes de l'île ces petits êtres élevant leur immense ouvrage. Du côté d'Ospa, l'on peut, à mer basse, s'avancer à plus de trois quarts de lieue sur le rivage abandonné par les flots. « C'est là, dit Péron, qu'avec un  
« étonnement mêlé d'admiration, l'on jouit  
« à son aise du spectacle merveilleux de ces  
« milliers d'animalcules occupés sans cesse de  
« la formation des rochers sur lesquels on  
« s'avance; et lorsque l'observateur, armé  
« d'une forte loupe, vient à contempler ces  
« êtres si faibles, il a peine à concevoir com-  
« ment, par des moyens si petits en appa-  
« rence, la nature a pu élever du fond des  
« mers ces vastes plateaux de montagnes qui  
« se prolongent sur la surface de l'île et qui  
« paraissent former sa substance presque en-  
« tière. »

## CHAPITRE IV.

DES AGENTS QUI EXERCENT UNE ACTION SUR  
LA SURFACE DU GLOBE,

ET DES DÉGRADATIONS OU CHANGEMENTS  
RÉSULTANT DE CETTE ACTION.

LA forme des inégalités que vient de nous présenter la surface de la terre, l'aspect déchiré et morcelé qu'elle offre de toutes parts, suffisent pour nous convaincre qu'elle n'est plus telle qu'elle a été formée, et qu'elle a éprouvé de grands changements et de grandes dégradations. Leur examen, et d'abord celui des agents qui les ont produits, vont être le double objet de ce chapitre.

## SECTION PREMIÈRE.

*Des agents, et de la nature de leur action.*

Une observation attentive des phénomènes qui se passent sous nos yeux, nous montre que les changements et les dégradations se continuent encore à la surface du globe, et qu'ainsi, d'après toute analogie, les agents qui les produisent sont, au moins en partie, les mêmes que ceux qui ont produit les anciens. Parmi ces agents, les uns, ayant leur siège à l'extérieur, par rapport à la masse solide du

globe, l'attaquent par sa superficie; les autres, qu'elle recèle dans son sein, agissent, pour ainsi dire, de bas en haut sur sa croûte. Les premiers ne peuvent être que l'enveloppe de fluides aqueux et aériformes qui entoure la terre, et qui exerce une action continuelle sur sa surface: les seconds sont les feux volcaniques et les tremblements de terre; ce sont au moins les seuls dont l'action se soit fait ressentir à la superficie. Quant à ceux qui, enfoncés plus avant vers le centre de la terre, en minent peut-être la croûte, nous n'avons absolument aucun moyen de nous assurer même de leur existence. Cette distinction d'agents en *extérieurs* et *intérieurs* divisera naturellement la section en deux articles.

#### ART. 1.<sup>er</sup> *Agents extérieurs.*

Ces agents sont l'atmosphère et l'eau. Nous avons fait connaître leur essence et leur manière d'être à la surface du globe, dans le chapitre II de cet ouvrage: nous allons traiter ici de la nature de leur action, et des effets qu'elle peut produire.

##### 1) *Action de l'atmosphère.*

Nous comprendrons ici, parmi les fluides atmosphériques, outre l'air ordinaire, le calorique et le fluide électrique.

Action de  
l'air sur la  
surface  
de la terre.

§. 44. L'air exerce une action chimique directe sur certaines substances minérales; soit en leur enlevant quelqu'un de leurs principes constituants, soit en leur cédant une portion de son oxygène : par ces opérations, il relâche et détruit leur tissu, et il concourt ainsi à leur dégradation et à leur décomposition; mais comme, dans cet effet, il est puissamment secondé par l'eau en vapeur, nous renvoyons à l'article suivant ce qui y est relatif.

Quant à son action mécanique sur les roches, à celle qu'il exerce par le choc, lorsqu'il est en mouvement sous forme de vent, elle est fort peu considérable, et paraît se borner à enlever et emporter les molécules très-déliées que la décomposition a détachées de leur surface, et à occasioner la chute de quelques rochers déjà ébranlés.

C'est sur les terrains d'alluvion, notamment sur ceux de sable, que l'air en mouvement produit ses principaux effets. Le récit unanime des voyageurs qui ont traversé les déserts de l'Afrique, de l'Arabie, etc., nous apprend que les vents y soulèvent des nuages de sable, les transportent au loin, les y accumulent et en forment des montagnes. L'Histoire de l'Académie (1722) fait mention d'une grande masse de sable de 6 à 7 mètres de hauteur, qui couvrit, en 1666, tout un canton voisin de Saint-Paul-de-Léon en Bretagne,

et qui submergea ce pays, si l'on peut employer ici cette expression; cinquante-six ans après, elle s'était avancée de six lieues dans l'intérieur des terres, et l'on apercevait encore quelques pointes des clochers du pays submergé. Ce sont les vents qui élèvent sur les bords de la mer, en plusieurs endroits, ces ceintures de collines de sable, ou *dunes*, dont nous parlerons dans la seconde partie de cet ouvrage, qui les poussent vers l'intérieur des terres, et qui reculent ainsi, sur quelques points du globe, les limites de la mer.

La distance à laquelle les courants d'air peuvent emporter les sables et les matières pulvérulentes, est vraiment étonnante. Des navigateurs ont été assaillis par des pluies de sable à dix et douze lieues en mer (1). Dans les éruptions de l'Etna, et du Vésuve, les cendres volcaniques ont été portées jusque sur les côtes de la Libye, et même sur celles de l'Asie mineure à deux cents lieues de distance.

Les vents, en accumulant les nuages dans certains lieux, en y produisant des ouragans et des tempêtes, en y soulevant les flots, peuvent encore produire, d'une manière indirecte, quelques effets sur la surface du globe, ainsi que nous le dirons dans la suite de ce chapitre.

---

(1) *Histoire de l'Académie*, 1719.

Action de la  
chaleur.

§. 45. La chaleur de l'atmosphère, ou celle qui se fait sentir à la surface de la terre, ne paraît devoir exercer directement qu'une faible action sur les roches; elle se borne à accélérer leur destruction par l'alternative de condensation et de dilatation que son plus ou moins d'intensité produit. Mais c'est indirectement; et comme un des grands agents des décompositions chimiques, que la chaleur peut exercer une action réelle sur la surface du globe: c'est en augmentant ou favorisant l'action dissolvante des divers menstrues répandus dans l'atmosphère, qu'elle concourt à la dégradation des masses minérales.

Action  
de la foudre.

§. 46. Parmi les effets que le fluide électrique peut exercer sur la croûte solide du globe, il n'en est qu'un qui nous soit connu, et il est bien faible: c'est celui qui a lieu lorsque la foudre vient à frapper la cime de quelque montagne. Alors, on l'a vu occasionner quelquefois la chute de rochers, les fendiller, ou laisser des traces de fusion à leur surface. Saussure a trouvé, sur la cime du Mont-Blanc, des masses d'amphibole schisteux, portant des bulles vitreuses d'un vert plus ou moins foncé. Un bloc de sienite lui a présenté de pareilles bulles qui étaient blanches sur le feldspath et noires sur l'amphibole; et, d'après les observations de ce minéralogiste, les unes et les autres ne pouvaient être que le produit d'une fusion opérée.



rée par la foudre : il fait remarquer qu'elles ne se trouvaient qu'à la surface, et qu'il n'y en avait pas dans l'intérieur (1). MM. Ramond et de Humboldt ont observé, l'un dans les Pyrénées, et le second en Amérique, des roches sur lesquelles la foudre avait imprimé de pareils indices de fusion.

## 2) *Action de l'eau.*

L'eau, sur la surface du globe, est agitée de divers mouvemens (§§. 15, 16 et 20) : en passant continuellement sur la terre ferme et sur les roches, elle les corrode, les dégrade, en détache des molécules, et les transporte en d'autres lieux où elle forme de nouveaux terrains et de nouvelles masses minérales : de sorte qu'une destruction dans un endroit est suivie d'une reproduction dans un autre. Nous allons considérer l'action de ce fluide sous ce double point de vue.

### a) *Action destructive de l'eau.*

L'eau exerce son action destructive à la surface de l'eau, tantôt *mécaniquement*, tantôt *chimiquement*. Elle l'exerce mécaniquement lorsque, dans ses mouvemens, elle arrache et entraîne les particules du sol sur lequel elle passe, ou corrode les parois des réservoirs qui la contiennent; lorsqu'en s'imbibant dans les masses de montagnes, elle en

(1) *Voyages dans les Alpes*, §§. 1153, 1194.

augmente le poids, et favorise ainsi leur affaïssement et leur éboulement; lorsque, surprise par la gelée, elle brise les roches qu'elle avait pénétrées. Elle agit chimiquement lorsqu'elle dissout certaines substances minérales à travers lesquelles elle filtre; lorsque, répandue sous forme de vapeur dans l'atmosphère, elle concourt à la décomposition des roches exposées à son action.

**ACTION  
MÉCANIQUE.**

L'eau se trouve à la surface du globe de quatre manières différentes. 1.<sup>o</sup> A l'état d'*eau sauvage*, quand elle coule sur cette surface immédiatement après y être tombée de l'atmosphère, et sans être contenue dans un lit; 2.<sup>o</sup> sous forme de courant réglé, ruisseau, rivière ou fleuve; 3.<sup>o</sup> dans les lacs; 4.<sup>o</sup> dans la mer. Examinons les effets destructeurs qu'elle peut produire, par son mouvement, dans ses quatre manières d'être.

**Eaux  
sauvages.**

§. 47. Lorsqu'elle tombe sur la terre en petite quantité, elle l'humecte, filtre à travers les premières couches et va alimenter les sources : dans ce mouvement, elle ne peut guère produire d'effet sensible. Mais il n'en est plus de même dans les grandes pluies, dans les orages et les averses, ou dans les fontes considérables de neige; alors on voit les eaux couler de tous côtés sur le sol qui les a reçues, entraîner la terre végétale, les terrains meubles et la surface décomposée des roches. Un seul orage a quelquefois suffi pour dé-

vaster toute une contrée, pour dépouiller et mettre à nu le noyau d'une montagne dont la surface était couverte de plantations quelques heures auparavant. Les Mémoires de l'académie de Stockholm (1747) rapportent qu'en 1740 une pluie d'orage qui dura huit heures, fut si forte, qu'elle délaya et entraîna plusieurs collines de Wermeland.

Les eaux sauvages, en se réunissant sous forme de ravines dans les sinuosités que le terrain présente, y creusent fréquemment de profonds sillons; elles y forment ou élargissent des ravins, sapent la base sur laquelle reposent d'énormes rochers, en occasionnent la chute, entraînent des pierres d'un volume considérable, quelquefois même de gros quartiers de roche. Bouguer a vu au Pérou, dans une éruption du Cotopaxi, une ravine, produite par une fonte subite des neiges qui couvraient la cime de ce volcan, occasioner de terribles ravages, quoiqu'elle ne fit en quelque sorte que traverser le terrain sur lequel elle passa : en des endroits où elle ne séjourna pas plus d'une minute, « il y eut  
« des pierres très-pesantes, de plus de 10 à  
« 12 pieds de diamètre, qu'elle changea de  
« place et qui furent transportées à 14, ou 15  
« toises de distance sur un terrain *presque*  
« *horizontal* (1). » Escher rapporte que, lors

---

(1) Bouguer, de la Figure de la terre, p. lxi.

de la débâcle du lac de Bagnes, dans le Val-lais, les eaux entraînent, à plusieurs mille pieds de distance, des centaines de blocs de granite, dont un avait dix mille pieds cubes de volume (1).

Des eaux  
sous forme  
de courant.

§. 48. Les rivières, les ruisseaux, et en un mot toutes les eaux courantes, exercent une action continuelle sur le lit et sur les rives qui les contiennent : elles tendent continuellement à en corroder et entraîner la partie qui est en contact avec elles ; elles le font avec d'autant plus de facilité que leur masse et leur vitesse sont plus considérables, et que les parois et le fond de leur lit sont susceptibles de moins de résistance.

Action  
de l'eau cou-  
rante sur les  
rochers.

Lorsqu'une rivière coule dans le roc, son action, pour être presque insensible dans un court espace de temps, n'en est pas moins réelle. Quel est l'observateur qui, en suivant le cours d'une rivière ou même d'un simple ruisseau resserré entre des rochers, n'a pas vu, en quelques endroits, la partie du roc la plus fréquemment exposée au choc de l'eau, être rongée, arrondie et comme minée ? J'ai observé au milieu du lit du Rhin, à la fameuse cataracte de Schaffhouse, deux rochers isolés qui s'élèvent sur le bord du précipice que l'eau va franchir ; le courant, resserré entre eux, en corrode le bas, qui est ainsi beaucoup plus mince que le haut, et dans peu ils

(1) *Mineralogisches Taschenbuch für 1822.*

finiront par s'écrouler. Le changement de lit de quelques rivières, la perte de quelques autres dans des excavations souterraines, sont des effets de la même cause; ces excavations s'approfondissent de jour en jour, dit Saussure (§. 409) en parlant de la perte du Rhône. L'action des courants sur les rochers va même jusqu'à percer des digues de roc qui barraient leur chemin, et qui semblaient devoir mettre un obstacle éternel au cours qu'ils ont aujourd'hui. On a un exemple de ce fait sur le Tarn, à deux lieues au-dessus d'Albi, au *Saut du Sabot* : le fleuve y semble comme barré par une masse de schiste micacé très-quartzueux, qui s'élève au-dessus du niveau des eaux; au milieu, le Tarn s'est creusé un passage pareil à une fente de plus de deux cents mètres de longueur, dix-huit de profondeur, et de six à sept de large : ses parois sont taillées presque à pic; elles portent, notamment dans leur partie inférieure, des signes non équivoques de l'érosion des eaux : ce sont des faces arrondies, ondulées et rongées dans les parties les plus tendres. J'ai encore vu un bel exemple du même fait dans la vallée de l'Ardeche : à quatre lieues au-dessus du point où cette rivière se jette dans le Rhône, les eaux se sont ouverts, au bas d'une digue de pierre calcaire qui barre transversalement la vallée, et qui a environ 70 mètres de hauteur et 30 d'épaisseur, un

passage ayant l'aspect d'une arche de pont qui aurait 34 mètres de hauteur et 55 de largeur (1). Il y en a un pareil en Virginie, le *Natural-bridge*; il a 50 mètres de hauteur et 30 de largeur : c'est en passant au-dessous que la rivière *Jámes* traverse une branche des monts *Alleganys* (2). Je ne saurais donner une idée plus exacte de l'action érosive de l'eau sur les rochers, qu'en rappelant le phénomène que présentent les superbes cataractes du *Niagara*, dans l'Amérique septentrionale : cette rivière sort du lac *Érié* et va dans le lac *Ontario*, distant d'environ huit lieues, et plus bas de cent mètres que le premier : vers les deux tiers de son cours, elle tombe de près de 50 mètres de haut, et elle achève sa route dans une échancrure profonde qu'elle a creusée dans le sol, ou plan incliné, compris entre les deux lacs : les cataractes étaient autrefois vers le bas du plan ; elles ont reculé d'environ 12000 mètres (3), et reculent encore depuis que les Européens sont dans le pays : l'échancrure dans le sol est évidemment leur ouvrage. L'action de l'eau sur les roches, qui a donné lieu au proverbe *goutte sur goutte use les pierres* (4), est un fait

(1) Voyez les dessins de ce pont dans l'*Histoire naturelle du Vivarais*, par Soulaye, tom. 1.<sup>er</sup>

(2) *American Geography*, by Jedidias Morse, pag. 613.

(3) Voyez la note qui est sur la carte des États-Unis, par Arrow-Smith.

(4) *Gutta cavat lapidem non vi, sed sæpe cadendo.*

connu trop généralement et depuis trop long-temps, pour que j'y insiste davantage.

L'eau des ruisseaux et des rivières, qui s'imbibe dans le roc de leur lit, en facilite la destruction; elle le ramollit quelquefois au point de le réduire en un limon qui est ensuite attaqué, délayé et emporté avec facilité. J'ai eu occasion de voir un exemple de ce fait remarquable dans les terrains de porphyre trachytique du Mont-Dore, en Auvergne : sous l'eau de quelques-uns des ruisseaux qui le traversent, mon marteau s'enfonçait dans la roche à peu près comme dans de la boue.

Les substances que les torrens entraînent ne peuvent qu'augmenter leur force destructive : ainsi les sables et les graviers qu'ils roulent doivent contribuer à user et corroder les rochers contre lesquels les eaux les pressent. Les glaces que les rivières charrient, dans les temps de débâcle, étant d'un volume souvent énorme, et étant animées d'une vitesse considérable, peuvent produire de grands effets par le choc. On a vu des quartiers de roche transportés sur de gros glaçons à des distances considérables; et, sans un pareil intermédiaire, ou d'autres semblables, il serait quelquefois bien difficile de concevoir comment certaines masses énormes ont pu être apportées par les eaux sur un sol qui leur est absolument étranger.

Eau dans les  
lacs. Éro-  
sion des  
digues.

§. 49. Dans les lacs qui ont une issue, les eaux exercent une action continuelle contre la digue ou la paroi qui s'oppose à leur écoulement : lorsque le *trop-plein* s'épanche par-dessus une digue, elles en corrodent la partie supérieure et en baissent continuellement le niveau ; lorsqu'elles s'échappent par des fentes ou fissures, elles se pressent fortement contre leurs parois et les élargissent, de sorte qu'au bout d'un temps plus ou moins considérable les lacs baissent de niveau et finissent même par se dessécher entièrement. De là cette multitude de bassins que nous voyons sur la partie sèche du globe (§. 32), qui sont entourés de collines plus ou moins élevées, et qui nous présentent encore, de la manière la moins équivoque, et plus ou moins bien conservée, l'échancrure par laquelle se sont écoulées les eaux qui les ont autrefois remplis. Peu de faits sont aussi bien constatés en géographie physique que l'ancienne existence de ces lacs desséchés, et que la rupture ou le percement de leurs digues.

Les étroites coupures faites au milieu des montagnes du pays de Cologne et de la Saxe, et par lesquelles le Rhin et l'Elbe sortent, le premier des bassins de l'Alsace, du Palatinat, etc., et le second du bassin de la Bohême, sont évidemment des échancrures par lesquelles ces bassins se sont vidés. Un naturaliste (M. Lippy), qui a observé les *Portes de*



fer par lesquelles le Danube sort du Bannat pour déboucher dans les plaines de la Valachie, m'a dit avoir été frappé de la correspondance des couches de part et d'autre du passage ; tout lui indiquait l'ancienne jonction des deux chaînes aujourd'hui séparées par ces portes, et lui attestait que les eaux les avaient ouvertes. Le Potomack, rivière des États-Unis d'Amérique, traverse la chaîne des Montagnes-Bleues, dans une coupure profonde, au fond de laquelle on voit d'énormes rochers, *monuments de la guerre entre les fleuves et les montagnes*, dit le président Jefferson (1). Les Alpes, les Pyrénées, et toutes les montagnes présentent une multitude de faits pareils : il serait superflu d'accumuler les citations.

Nous n'invoquerons pas les témoignages de l'histoire sur l'existence des anciens lacs et sur l'érosion des digues, malgré leur grand nombre ; c'est ainsi qu'on nous dit que la Thessalie était autrefois le fond d'un grand bassin, et que la vallée de Tempé s'étant ouverte, les eaux s'écoulèrent par cette issue et se rendirent à la mer (2).

Nous pouvons nous faire une idée de la manière dont plusieurs lacs ont disparu et ont été desséchés, en observant le phénomène des cataractes du Niagara, rapporté au para-

(1) Malte-Brun, *Géographie*, tom. XIV, pag. 387.

(2) *Idem*, *ibid.*, tom. X, p. xlv.

graphe précédent. Ces cataractes ont reculé de sept milles; si elles reculent encore de dix-huit, le lac Érié se trouvera abaissé au niveau du lac Ontario, et il disparaîtra peut-être, en se transformant en un bassin dont le fond, resté à sec, sera traversé par le fleuve Saint-Laurent, lequel en sortira à travers l'échancrure creusée par les cataractes, à peu près comme nous voyons sortir le Rhin du bassin où est l'Alsace, par l'échancrure qui s'étend depuis Bingen jusqu'à Bonn.

Quelquefois les eaux des lacs, au lieu d'attaquer leurs digues dans la partie supérieure, corrodent et percent la partie inférieure, contre laquelle elles exercent d'ailleurs une plus forte pression : une petite fissure, dans cette partie, peut donner lieu à l'ouverture. C'est vraisemblablement ainsi que se sont formés les ponts naturels dont nous avons parlé plus haut.

Des affaissements, des tremblements de terre, en donnant lieu à de nouvelles fentes, peuvent encore avoir ouvert une issue aux eaux des lacs ou mers méditerranées, et avoir ainsi occasionné leur débâcle.

Ces débâcles ne peuvent manquer de produire de grands effets. Saussure leur attribuait, en partie, les traces d'érosions que les montagnes des environs de Genève lui présentaient de tous côtés : et le Vallais a fourni, en dernier lieu, un triste exemple de tels

effets. Un bras de glacier, s'étendant à travers le Val de Bagnes, y avait produit, dans sa partie supérieure, un lac d'environ 400,000 mètres carrés de superficie et 70 mètres de profondeur. En 1818 la digue de glace se rompit, les eaux sortirent avec impétuosité, parcoururent la vallée (avec une vitesse moyenne de 11 mètres par seconde), entraînant tout ce qui se trouvait sur leur passage, rochers, pierres, terre, groupes entiers de sapins, maisons, granges, débris de toute espèce, à tel point que le tout ne présentait plus que l'horrible image d'un torrent de décombres et de boue : dans un étranglement de la vallée, dit Escher, il brisa, arracha et emporta des rochers en place.

§. 50. Les mouvements dont les eaux de la mer sont douées, leur donnent le moyen d'exercer une action beaucoup plus considérable qu'on ne le croit communément, sinon sur le fond, du moins sur les bords du bassin qui les contient.

Action de  
l'eau dans la  
mer.

Si ces bords sont élevés, les vagues les attaquent, les rongent, les transforment en falaises, qu'elles minent ensuite, et dont elles occasionnent peu à peu la chute et la destruction. Elles peuvent ainsi reculer les limites de la mer, et lui former les côtes escarpées qu'elle présente si souvent. Les rochers nus et à pic qui la dominent quelquefois en surplombant, ceux qui se portent en

avant et qu'une érosion a évidemment détachés de la terre pour en faire des écueils, etc., sont des preuves incontestables de l'action destructive des vagues. Quoique ce soit principalement par une action continuellement répétée, pendant une bien longue durée de temps, que ces effets peuvent être produits, nous avons cependant des exemples d'un effet rendu sensible depuis une époque peu éloignée : Schaw a observé, sur les côtes de la Syrie, des auges de trois aunes, entaillées dans le rocher et destinées à la confection du sel : malgré la dureté de la pierre, dit ce voyageur, elles sont aujourd'hui presque entièrement usées et aplanies par le battement continu des vagues (1). *L'Histoire de l'académie* (1707) cite une falaise de pierre tendre, corrodée jusqu'à une distance de seize pieds en trente ans. Bergmann parle de plusieurs cavernes creusées par les flots, et dont les savants suédois ont constaté l'accroissement (2). Les fragments, les quartiers de rochers qui tombent dans la mer, poussés par les vagues contre la côte, font encore partie de la puissante artillerie, dit Playfair, à l'aide de laquelle l'Océan bat en ruine la terre ferme. Ces fragments, roulés ainsi par les eaux, se brisent, s'usent et finissent par se réduire en sable et en terre. « J'ai vu dans la

---

(1) Schaw, *Voyages*, etc., tom. 2.

(2) *Géographie physique*, §. 170.

« mer de Sicile, dit Saussure, de grands blocs  
 « de lave dure (basalte) et anguleuse, par-  
 « faitement arrondis par le choc des vagues,  
 « et réduits en peu d'années à la moitié de  
 « leur volume.... En deux ans, de grosses  
 « masses qu'on avait fait sauter à la poudre  
 « étaient toutes arrondies comme si on les eût  
 « taillées au ciseau. »

La mer exerce aussi quelquefois de terribles effets sur les régions basses, exposées à son action. La Hollande en fournit de tristes exemples. En 1225, l'Océan, soulevé par une grande tempête, inonda le pays; le Rhin, gonflé par des pluies extraordinaires et retenu à une grande hauteur, tant par les eaux de la mer que par les vents, se répandit sur les terres voisines; mais le calme étant ensuite survenu tout-à-coup, les eaux se retirèrent avec une telle rapidité et une telle force qu'elles entraînent une portion considérable du sol, et laissèrent en place la mer du *Zuyderzée*. En 1421, une inondation submergea également la partie méridionale du comté de Hollande; noya plus de cent mille habitants, couvrit une centaine de villages, et, en se retirant, elle forma, près de *Dordrecht*, le bras de mer connu sous le nom de *Bies-Boos*.

Les preuves des effets destructeurs des mers sur leur fond ne sont pas aussi positives. Les mouvements irréguliers de l'Océan, même

dans les plus fortes tourmentes, ne paraissent pas se faire ressentir au-delà de quelques mètres de profondeur : ils sont ainsi bien loin d'atteindre les grands fonds. Mais en est-il de même des courants, pour ainsi dire éternels, et qui tiennent à des causes générales et permanentes : tel est le grand courant équinoxial ? Ce n'est pas vraisemblable. Les navigateurs ont remarqué que, dans les mers des États-Unis d'Amérique, la profondeur est plus grande sous le grand courant, le *Gulf-Stream* (1), lequel se serait ainsi creusé un lit dans l'Océan, en écartant les sables et les vases, et peut-être même en corrodant les rochers qui sont au-dessous.

Lorsque, par un concours de circonstances, l'action de ces courants viendra à augmenter et à se joindre à celle des flots, ils finiront quelquefois par renverser les obstacles qui leur étaient opposés. C'est très-vraisemblablement de cette manière qu'ont été produits un grand nombre de détroits. Buffon remarque à ce sujet que la plupart de ceux de la zone équatoriale sont dirigés de l'est à l'ouest comme le grand courant équinoxial, et qu'il est très-probable que ce courant a concouru à la formation d'un grand nombre d'entre eux. Il aura peut-être aussi concouru indirectement à l'ouverture de celui de Bahama, par laquelle il sort du golfe du Mexique ; et

---

(1) Humboldt, *Relation historique des voyages*, tom. 1.<sup>er</sup>, p. 76.

peut-être encore, par un effet analogue, il aura contribué à la formation du golfe même.

§. 51. L'eau peut encore concourir par son poids à la dégradation de la surface du globe. Elle s'imbibe quelquefois dans de grandes masses, les rend plus pesantes, et concourt de cette manière à leur affaissement ou à leur croulement. On a remarqué que les éboulements dans les montagnes étaient plus fréquents dans les années humides; c'est ainsi qu'en 1805, à la fin d'un été et d'un jour très-pluvieux, nous avons vu s'écrouler une portion considérable du Ruffiberg, en Suisse. Cette montagne, élevée de 1150 mètres au-dessus de la vallée, est formée de couches de grès ou de poudingue (*nagelfluhe*) à ciment marneux et parallèles à la pente: le 2 Septembre, il s'en détacha une bande ayant près de 4000 mètres de long, 400 de large, et 30 d'épaisseur: en glissant sur les couches inférieures, ramollies encore par l'eau, elle se précipita dans la vallée; ensevelit sous ses débris plusieurs villages, coûta la vie à cinq cents personnes, et éleva au fond de la vallée des collines de plus de 60 mètres de haut (1).

La Suisse et en général tous les pays de montagnes ne sont que trop souvent témoins de pareilles catastrophes, produites par l'aug-

Action de  
l'eau par  
son poids.

Ebou-  
lements.

(1) Voyez une description aussi exacte que bien raisonnée de ce malheureux événement, faite par M. de Saussure fils, dans la *Bibliothèque britannique*, tom. 32.

mentation du poids des masses qui s'imbibent d'eau, favorisée par le délayement et l'entraînement des couches terreuses, marneuses ou gypseuses sur lesquelles reposaient ces masses. En 1618, par suite de ces causes, une énorme portion des rochers qui bordent la vallée de Chiavenna, dans la Valteline, s'éboula, ensevelit la petite ville de Pleurs, et plus de deux mille de ses habitants. En 1714, la partie occidentale du mont *Diableretz*, dans le Vallais, croula et couvrit de ses débris plus d'une lieue carrée, sur une hauteur de cent mètres en quelques points.

Ces éboulements, en obstruant quelquefois les vallées, y retiennent les eaux et y forment des lacs, dont la débâcle occasionne ensuite de terribles ravages.

Effet de la  
congelation  
de l'eau.

§. 52. L'eau pénètre, ainsi que l'on sait, dans la masse d'un très-grand nombre de roches, et elle s'insinue dans toutes leurs fissures; si elle vient à y être surprise par la gelée, en passant à l'état de glace, elle augmente de volume (dans le rapport de 9 à 10), et par ce mouvement de dilatation, elle écarte les molécules minérales entre lesquelles elle se trouve; elle rompt leur agrégation, produit de nouvelles fissures et élargit les anciennes. Tant qu'elle reste congelée, elle sert encore de ciment aux parties désunies; elle les colle en quelque sorte les unes aux autres. Mais, lors du dégel, elles ne sont plus



retenues; le premier agent mécanique qui se présente peut les emporter, et souvent l'action de la pesanteur suffit pour occasioner leur chute. Aussi, dans les pays très-froids, c'est durant les dégels que les grands éboulements et les grandes avalanches de pierres ont lieu; il serait imprudent de passer, à cette époque, sur un grand nombre de chemins situés au pied des montagnes de la Suède et de la Norwége: dans les Alpes, on évite de se trouver sur certains glaciers, ou sur de grandes hauteurs, vers le milieu d'un jour d'été, lorsque la forte chaleur du soleil fond des glaces conservées jusqu'alors, et occasionne leur chute; ainsi que celle des rochers et des pierres. Saussure, durant seize jours qu'il passa, en Juillet 1788, sur le col du Géant, ne restait pas une heure sans voir ou sans entendre quelques avalanches de rochers se précipiter avec le bruit du tonnerre: il attribuait ces faits à la congélation de l'eau qui s'était infiltrée dans les interstices de couches inclinées (1).

§. 53. Les eaux pluviales qui sont entrées pures dans le sein de la terre, en sortent chargées de diverses substances qu'elles ont enlevées aux masses minérales à travers lesquelles elles ont filtré. Les principales de ces substances (§. 21) sont le sulfate de chaux,

ACTION  
CHIMIQUE.  
Action  
dissolvante.

(1) *Voyage dans les Alpes*, §. 3048.

le carbonate de chaux, le muriate de soude. Partout où l'eau trouve ces sels, et en général toutes les matières qu'elle peut dissoudre, soit directement, soit indirectement, à l'aide de quelque intermédiaire, et tel est souvent l'acide carbonique, elle s'en charge et les entraîne avec elle. Ces dissolutions, souvent répétées, doivent produire à la longue des vides plus ou moins considérables dans l'intérieur des montagnes. De là ce grand nombre de grottes, de cavernes et de canaux souterrains que l'on trouve si souvent dans les roches calcaires et gypsenses, et dont nous parlerons en traitant de ces roches : de là encore les affaissements, les creux et les lacs qu'on y trouve quelquefois, et qui sont une suite de l'existence des cavernes.

Décomposi-  
tion des ro-  
ches.

§. 54. L'eau concourt encore d'une manière plus forte, quoique moins apparente, à la destruction des roches : c'est lorsque, répandue dans l'atmosphère, aidée de l'action de l'air, de la chaleur, et peut-être encore de quelques agents qui nous sont inconnus, elle opère leur décomposition, et les fait tomber comme en efflorescence. On a observé que l'air humide était plus propre à ce travail de la nature, preuve évidente de la coopération de l'eau.

La décomposition dont nous parlons ici, celle qu'éprouve un minéral qu'on laisse exposé à l'action de l'atmosphère, n'est pas

seulement due à un simple relâchement dans l'agrégation des molécules intégrantes : il paraît qu'il y a un effet chimique qui attaque même ces molécules, et qui en change la composition, soit par la soustraction, soit par l'addition de quelque nouveau principe. L'eau est un des agents qui produisent cet effet : tantôt elle enlèvera à quelques minéraux leur partie alcaline ; tantôt elle se combi-  
nera avec le fer qu'ils peuvent contenir, pour former des hydrates ; ou bien encore, en se décomposant, elle produira l'oxigénation ou la sur-oxigénation de quelque principe constituant.

Le feldspath, qui est la substance minérale la plus abondamment répandue sur le globe, qui est comme la base des granites et de la plupart des roches primitives, est très-sujet à la décomposition, surtout lorsqu'il est en grains lamelleux. Il n'y a pas de paveur de route qui ne sache que, malgré sa dureté apparente, c'est une des plus mauvaises pierres qu'il puisse employer : à peine l'a-t-il étendue sur un chemin, qu'elle s'y réduit en une vraie terre. Ce minéral étant, d'après les très-importantes observations de M. Berzelius, un silicate d'alumine et de potasse ou de soude, on a pensé que la soustraction du principe alcalin, opérée par les agents atmosphériques, pourrait bien être cause de la facilité avec laquelle il se décompose. Sa décomposition

entraîne nécessairement la désagrégation complète des roches dont il fait partie.

Les schistes, tant par suite de leur texture que, de leur composition, se délitent et se détruisent avec beaucoup de facilité. Les pierres calcaires résistent beaucoup plus, surtout lorsqu'elles sont pures. Quant aux grès, leur résistance dépend beaucoup de la nature de leur ciment; mais, en général, elle est peu considérable. Nous donnerons, dans la seconde partie, les détails relatifs à chaque espèce de roche.

La décomposition des masses minérales, et en particulier celle des granites, se fait quelquefois en des temps assez courts dans les lieux où ces masses sont exposées à toute l'action de l'atmosphère. Dans les carrières ouvertes depuis un petit nombre d'années, les minéralogistes ont souvent bien de la peine à pouvoir prendre un échantillon de granite assez frais pour être conservé dans leurs cabinets. Dans un chemin creux, ouvert à l'aide de la poudre depuis six ans, j'ai vu des granites entièrement décomposés, jusqu'à trois pouces de leur surface.

La profondeur à laquelle la décomposition pénètre, est quelquefois d'un, deux et trois pieds. Dans quelques terrains granitiques de l'Auvergne, du Vivarais, des Pyrénées orientales, etc., on croit fréquemment être sur de grands tas de graviers, tant la décomposition y est complète et profonde.

D'autres granites, il est vrai, ainsi que nous le verrons par la suite, résistent beaucoup plus à l'action délétère des éléments. Cependant il ne faut pas toujours conclure qu'ils ne se décomposent pas, parce qu'ils présentent continuellement une surface dure et solide; il est possible que les molécules soient enlevées à mesure que la décomposition les détache. J'ai vu un grand nombre de preuves de ce fait: par exemple, j'ai observé de grosses boules de granite, dont la surface décomposée présentait plusieurs couches concentriques: la partie de ces couches qui aurait recouvert l'hémisphère supérieur manquait, elle avait été enlevée par les pluies; mais l'on voyait évidemment, par la manière dont se terminaient les couches de l'hémisphère inférieur, qu'elles avaient originairement enveloppé les boules dans leur entier.

§. 55. L'eau, chargée des matières minérales qu'elle a enlevées aux diverses parties de la surface du globe, les entraîne et finit par les déposer en d'autres lieux, où elle reproduit de nouveaux terrains et forme de nouveaux minéraux. Selon que les matières qu'elle dépose étaient mécaniquement suspendues ou chimiquement dissoutes dans son sein, ses formations sont *mécaniques* ou *chimiques*.

Distinction  
entre les for-  
mations mé-  
caniques et  
chimiques.

Nous disons qu'une substance est *mécani-*

quement retenue dans l'eau, lorsque la seule action de la pesanteur peut l'en séparer, le fluide étant en repos; ou lorsque la séparation peut se faire à l'aide d'un procédé mécanique, tel que la filtration. En se déposant, elle forme un *précipité mécanique*, qu'on désigne communément sous le nom de *dépôt* ou de *sédiment* : telles sont les couches d'argile, de marne, etc.

Une substance est *chimiquement* tenue dans un fluide, lorsqu'elle ne peut en être séparée que par la soustraction du dissolvant, ou par l'action chimique de quelque nouvelle substance qui intervient dans le fluide. En se séparant, elle donne un *précipité chimique*, soit qu'il paraisse cristallin, comme dans les granites et les marbres salins; soit qu'il présente une masse compacte, comme dans l'eurite; soit même que ses parties n'aient aucune adhérence entre elles : tel est peut-être le cas de quelques kaolins et autres minéraux.

Au reste, la ligne de démarcation entre les deux sortes de précipités, et par suite entre les deux sortes de formation qui en sont composées, ne saurait être tracée avec une précision rigoureuse; par exemple, entre le phyllade primitif et quelques argilés schisteuses : les physiciens eux-mêmes sont embarrassés lorsqu'il s'agit d'indiquer, même en théorie, une vraie limite entre la suspension, la solution et la dissolution.

Nous considérons ici l'eau à l'état d'eau courante et à celui d'eau stagnante.

ACTION  
MÉCANIQUE.

§. 56. Les eaux sauvages, qui courent sur la surface de la terre, ont en général peu de force; leur effet se borne à entraîner les parties terreuses les plus ténues des pentes sur lesquelles elles coulent, et à les déposer à leur pied. Dans les grandes pluies, elles y portent encore et y entassent des graviers, des galets et même de grosses pierres.

Eaux  
courantes.

Les ruisseaux, rivières et fleuves, tant qu'ils sont contenus dans leur lit, et en temps ordinaire, ne sauraient produire aucune nouvelle formation; on a seulement remarqué qu'ils avaient en général, vers leur embouchure, une tendance à exhausser leur lit. Mais il n'en est plus de même dans les temps de crue, lorsqu'ils débordent et couvrent de leurs eaux les terres voisines. A cette époque, ils roulent une quantité souvent considérable de galets, de gravier, de sable et de limon, qu'ils ont enlevés au sol sur lequel ils sont passés, et qui leur ont été apportés par les eaux sauvages, cause de leur crue; ils les déposent sur le terrain qu'ils inondent, abandonnant d'abord les pierres les plus grosses, puis les graviers, puis les sables, et enfin les terres et vases. Ces sédiments, accumulés pendant une multitude de siècles, peuvent former des masses de terrains assez considérables: tous les cent ans, le Nil dépose sur le sol de la

Basse-Égypte un sédiment de près de cinq pouces d'épaisseur, d'après la supputation de M. Girard (1); et le terrain y est composé de pareilles alluvions jusqu'à une profondeur qui nous est inconnue dans le milieu de la vallée.

La nature des atterrissements dépend de celle des substances qui constituent le sol, des contrées traversées par les eaux. Si ce sol est de granite, par exemple, le feldspath, en se décomposant, se réduira en une terre que les eaux transporteront à une grande distance, sous forme de *troubles* (2), et qu'elles déposeront dans les lieux où la vitesse sera très-ralentie ou même nulle, comme dans une plaine couverte par l'inondation; le sédiment y formera une couche d'argile plus ou moins épaisse: le quartz, résistant à la décomposition, sera roulé par le courant; ses grains, frottés contre le lit et les uns contre les autres, s'arrondiront, diminueront de volume, et seront portés et déposés d'autant plus loin qu'ils seront plus petits; ce qui formera une suite de graviers et de sables de plus en plus fins et qui finiront par se mêler avec les argiles: les lames de mica se briseront et produiront ces petites paillettes et ces points micacés que l'on trouve dans les sables et les glaises. Si le sol qui a fourni les atterrissements était de schiste, les sédiments seraient plus limoneux que sablonneux; et s'il contenait beaucoup de calcaire, les *détritus* de cette substance, se mêlant avec ceux des autres roches, donneraient lieu à la formation de marnes, etc.

Les eaux étant revenues à diverses reprises sur le même terrain, et ne chariant pas tou-

(1) 0,126 mètre, *Description de l'Égypte par une commission de savants français*. Schaw comptait un pied par siècle, et vingt pieds depuis Hérodote.

(2) C'est ainsi que l'on nomme les matières terreuses suspendues dans les eaux courantes et qui en altèrent la transparence.



jours les mêmes substances, ont souvent entassés les uns sur les autres des sédiments différents; de là cette alternative de bancs de galets, d'argiles, de sables, etc., que l'on trouve dans plusieurs terrains formés par les atterrissements des fleuves. Le sol de l'Égypte présente des couches ou veines de sable, au milieu du limon déposé par le Nil. De plus, lorsque les eaux reviennent sur un de leurs précédents dépôts, et qu'elles sont animées d'une certaine vitesse, il leur arrive d'en reprendre une partie; et comme les particules les plus ténues sont celles dont elles s'emparent le plus aisément, elles n'y laissent quelquefois qu'un fond de sable.

§. 57. Les fleuves charient, jusque dans la mer, une partie des sables et des terres dont ils se sont chargés en traversant les continents. Arrivés à ce grand réservoir, leur vitesse se ralentit graduellement, et finit bientôt par s'anéantir; dès qu'elle diminue, les sables les plus gros se déposent principalement sur les bords du courant où le mouvement est moindre, et les parties les plus ténues sont emportées plus avant dans le fond de la mer.

Eaux  
stagnantes.

Les atterrissements qui se forment ainsi, à l'embouchure des fleuves, des deux côtés du courant, sont quelquefois très-considérables. L'Elbe, le Rhône, le Danube, le Pô, etc., présentent des exemples frappants de ces

formations : la marche moyenne des atterrissements qui se forment aux bouches de ce dernier fleuve, est d'environ 70 mètres par an, depuis deux siècles (1). Le Nil, l'Orénoque, et les autres grands fleuves d'Amérique, présentent des faits semblables. On a vu de grandes îles se former à l'embouchure du Mississipi, et, depuis moins de cent ans, les terres qui sont devant cette embouchure se sont avancées de quinze lieues (2). Le docteur Barrow estime que le limon que le fleuve Jaune apporte dans la mer de Pékin, pourrait la combler en deux cent quarante siècles; elle a vingt mille lieues carrées et trente-sept mètres de profondeur moyenne. (3).

Les matières que les fleuves portent dans la mer, et qui s'y déposent à une grande profondeur et dans des lieux tranquilles, y sont vraisemblablement pour toujours. Mais il n'en est pas de même des sables qui restent près des côtes, sur un bas-fond : tantôt ils sont repris et conduits par les courants littoraux, qui ne les abandonnent que dans les anses et dans les lieux où la mer est calme; tantôt les vagues s'en chargent, les portent, et les abandonnent en partie sur le rivage.

C'est ainsi que se forment les atterrissements ou alluvions qui, en alongeant cer-

---

(1) Prony, *Système hydraulique de l'Italie*.

(2) Valney, *la Rochefoucault*.

(3) *Voyage de lord Macartney en Chine*.

taines plages, font reculer la mer, et semblent en faire baisser le niveau. Tout le monde sait que la Méditerranée est actuellement à plus d'une lieue (5000 mètres) d'Aigues-Mortes en Provence, où Saint-Louis s'embarqua en 1269. Ravenne, qui, du temps d'Auguste, s'avancait dans la mer, en est maintenant à une lieue : et le sort de cette ville, dont l'ancienne position était pareille à celle que nous présente Venise, semble annoncer celui qui attend infailliblement cette dernière cité. Des observations faites sur les côtes de Languedoc, par les ingénieurs chargés d'y prévenir l'ensablement des ports, constatent d'une manière précise l'accroissement des alluvions sur ces côtes ; il change peu à peu les lagunes en marais, et les marais en terres cultivables : une redoute faite à l'embouchure de l'Hérault, en 1609, était, en 1783, à 200 mètres du rivage, ce qui donne un accroissement moyen de 1,9 mètre par an ; une batterie élevée, en 1746, à 30 mètres de la mer, en était à 118 mètres trente-sept ans après, et par conséquent l'accroissement était de 2,1 mètres (1).

Les bords de l'Océan présentent des faits analogues : M. Fleuriau de Bellevue m'a assuré qu'il se déposait annuellement, sur une partie du golfe qui est au nord de la Rochelle,

---

(1) Mercadier, *Sur les ensablements du port de Cette.*

une bande de terrain d'alluvion ayant jusqu'à 40 mètres de large. Nous parlerons, dans la seconde partie de cet ouvrage, des atterrissements si remarquables qui ont lieu sur les côtes de la Hollande et de la basse Allemagne.

Il faut observer que les faits que nous venons de rapporter ne sont que locaux, et que sur plusieurs plages, les mers, au lieu d'y produire de nouvelles alluvions, semblent, au contraire, y détruire celles qui y étaient déjà.

ACTION  
CHIMIQUE.

Sur les con-  
tinents.

§. 58. Afin de mettre à même de juger des formations que l'eau peut opérer par son action chimique, c'est-à-dire par les substances minérales qu'elle tient en dissolution, nous allons rapporter quelques-unes de celles que nous lui voyons produire sur la surface des continents, et, en quelque sorte, sous nos yeux.

1.° Toutes les grottes et cavernes dans les montagnes calcaires nous présentent des stalactites et autres concrétions que l'on voit naître et grossir peu à peu. L'eau qui s'infiltre dans la roche, au-dessus de la grotte, s'y charge de carbonate de chaux, vraisemblablement par suite de l'acide carbonique qu'elle contient. Lorsqu'une goutte de cette eau, conduite le plus souvent par quelque fissure, arrive à la voûte de la caverne, et qu'elle y reste suspendue quelque temps,

l'acide gazeux se dissipe, les molécules abandonnées se portent sur les bords de la goutte, et lorsque celle-ci est entièrement évaporée, il reste sur la voûte comme un petit cercle formé par les molécules délaissées. Les gouttes subséquentes augmentent et allongent le premier précipité; et, au bout d'un certain temps, il se forme ainsi un cône plus ou moins considérable et fixé par sa base à la voûte : il est souvent percé dans son axe par suite du mode de formation indiqué. Par suite du même mode, de nouvelles molécules vont s'appliquer contre les anciennes, en se disposant suivant les lois de la cristallisation, de manière à former des lames et masses d'un vrai spath calcaire. Si le cône, où la *stalactite*, continue à croître, et que son sommet atteigne le sol, elle pourra former, par son grossissement, un de ces piliers ou colonnes mentionnées dans presque toutes les descriptions de grottes. Le grossissement peut même aller quelquefois jusqu'à obstruer et remplir entièrement la caverne. Si les gouttes d'eau, au lieu de rester suspendues à la voûte, et d'y déposer les molécules calcaires, étaient de suite tombées sur le sol, en y abandonnant ces molécules, elles auraient produit ces *stalagmites* et ces autres concrétions dont les formes sont souvent si extraordinaires.

Les sources qui tiennent en dissolution une

quantité notable de carbonate calcaire, lorsqu'elles coulent en plein air, laissent échapper l'acide carbonique qui servait d'intermédiaire pour opérer la dissolution; elles abandonnent le carbonate sur leur lit et sur leurs bords, qu'elles revêtent ainsi d'une incrustation pierreuse dont le volume est quelquefois très-considérable, et s'élève même au-dessus de leur cours ordinaire. C'est ainsi que la fontaine de Saint-Allire, près de Clermont en Auvergne, dont les eaux sont claires et limpides, a formé un pont qui avait, en 1754, cent pas de long, huit à neuf pieds d'épaisseur à sa base, et vingt à vingt-quatre pouces dans sa partie supérieure (1). Les eaux chargées de carbonate, que l'on conduit dans des tuyaux, finiraient par les obstruer, si l'on n'avait le soin d'enlever leurs dépôts de temps à autre : dans une mine d'Angleterre, un conduit, ayant environ huit pouces de large sur quatre de hauteur, fut bouché et rempli d'une sorte de marbre en moins de trois ans (2).

Si des eaux, ainsi chargées de carbonate calcaire, se répandent sur un terrain plat, elles pourront y former une couche de pierre, qui sera quelquefois propre à nos constructions ; tel est le *travertino* des environs de

---

(1) *Mémoires de l'Académie*, 1754.

(2) *Journal de physique*, tom. 13.

Rome. Si ce terrain était couvert de plantes, d'herbes, etc., le sédiment envelopperait ces substances; et si elles venaient ensuite à se décomposer et à se détruire, la masse pierreuse serait poreuse et comme cariée: ce serait un *tuf calcaire*. Nous parlerons, dans la suite de cet ouvrage, de ces deux sortes de formations.

Quelquefois les eaux calcifères, se rendant dans des lacs ou marais d'où elles sortent par l'évaporation, y abandonnent leurs molécules pierreuses, lesquelles, en s'accumulant, forment des couches de calcaire compacte. Il s'en produit journellement de telles dans les marais des vastes plaines de la Hongrie, et elles y fournissent aux habitans des matériaux pour la construction de leurs maisons: à une vingtaine de lieues au sud-est de Bude, M. Beudant en a vues qui n'étaient retirées de l'eau que depuis un an; c'étaient des plaques de 4 à 8 pouces d'épaisseur, d'un calcaire compacte, grisâtre et jaunâtre, fétide, présentant des cavités tubulaires dues au dégagement des gaz, et renfermant des coquilles fluviatiles des genres planorbe, lymnée et physe (1).

Les plantes et les figures d'animaux que l'on plonge dans des sources contenant beaucoup de carbonate, y sont bientôt recouvertes

---

(1) *Voyage minéralogique en Hongrie*, tom. 2, p. 353.

d'une incrustation qui leur donne l'aspect d'une plante ou d'un animal pétrifié. On a tiré parti de cette propriété dans quelques lieux, principalement aux bains de Saint-Philippe en Toscane : on y expose à l'action des eaux des moules de médailles, de bas-reliefs, de vases, de statues, et au bout de quelques mois ils sont remplis de l'albâtre calcaire le plus beau et le plus blanc (1).

Je citerai, comme un dernier exemple des concrétions calcaires, les *pisolithes* ou *dragées de Tivoli*, qui se forment naturellement dans les eaux de ces bains et de plusieurs autres endroits. Ces *pisolithes* sont, comme l'on sait, des masses formées de l'assemblage de petites boules de chaux carbonatée, à couches concentriques, ayant à leur centre un grain de sable ou un autre corps étranger. Werner, témoin de leur formation, aux eaux de Carlsbad en Bohême, rapporte que le bouillonnement de la source fait jouer, dans l'eau, les grains de sable; durant ce mouvement, ils se revêtent successivement de différentes couches calcaires, jusqu'à ce que, devenus trop pesants, ils restent au fond, s'agglutinent et forment des masses.

2.<sup>o</sup> Le gypse, ou sulfate de chaux, est encore une des substances que nous voyons se former journellement sous nos yeux. Dans

---

(1) *Journal de physique*, tom. 7.



les tas de gangues et de minerais pauvres que l'on jette près de l'entrée des mines, j'ai souvent vu de petits cristaux de ce minéral : les parties pyriteuses qui étaient dans le tas, s'étaient décomposées; il en était résulté de l'acide sulfurique, lequel, se portant sur la chaux existant dans ce même tas, avait formé ces cristaux. Ceux que l'on trouve fréquemment dans les terrains de transport, n'ont pas une origine différente : j'en dirai autant du sulfate qui existe, en parties imperceptibles, dans un très-grand nombre de ces terrains, et qui donne la qualité séléniteuse aux eaux des puits qu'on y creuse.

3.<sup>o</sup> Des minéraux même sur lesquels l'eau ne nous paroît avoir aucune action, ont été et sont encore formés par son intermédiaire : tel est entre autres le quartz. J'ai vu, sur des fragments d'un bois fossile peu altéré, brun noirâtre, de jolies rosettes de cristaux de quartz bien prononcées, ayant six à sept lignes de long, et dont la surface portait comme un enduit calcédonieux : voilà incontestablement une formation de quartz cristallin bien récente; car, je le répète, la substance qui portait les cristaux, était plutôt un bois demi-pourri, qu'un vrai lignite. Je citerai encore comme exemple des formations quartzeuses récentes, quelque extraordinaire qu'il me paraisse, celui d'un silex d'environ neuf pouces de long et quatre de

large, trouvé en 1782, en bêchant un jardin, qui, étant cassé, a présenté, dans une cavité cylindrique, une vingtaine de petites pièces d'argent, dont les plus anciennes n'étaient que du seizième siècle (1). Les eaux des Geysers en Islande (voy. §§. 21 et 71) produisent des concrétions siliceuses exactement semblables aux concrétions calcaires dont nous avons parlé.

4.<sup>o</sup> Les globules de pyrites, à rayons divergents et terminés quelquefois en cristaux à leur extrémité, que l'on trouve fréquemment dans les tourbières et dans des terrains aussi nouveaux, sont un témoin irrécusable des formations métalliques opérées de nos jours par l'action de l'eau.

5.<sup>o</sup> Je ne parlerai pas ici des minerais de fer limoneux qui se produisent encore journellement dans plusieurs de nos marais; ni des sels qui se trouvent et peut-être même qui se forment dans les steppes de la Sibérie, dans les déserts de l'Arabie, etc. : nous en traiterons au chapitre des *terrains de transport*, dans la seconde partie.

Je n'ai voulu donner ici que des exemples de formations produites, pour ainsi dire, en notre présence, par les eaux. Car, d'ailleurs, personne ne doute que les pierres calcaires contenant des coquilles, les couches mar-

---

(1) Trebra, *Journal des mines*, n.<sup>o</sup> 23, p. 75.

neuses portant des empreintes de poissons, les couches de houille remplies de plantes aquatiques, etc., n'aient été formées dans leur sein (voyez note III).

§. 59. L'intérieur des mers étant entièrement dérobé à nos observations, nous ne pouvons avoir aucune notion sur les formations qui s'y font ou qui peuvent s'y faire; rien même ne nous apprend positivement qu'il s'y en opère quelqueune. Cependant quelques faits semblent nous indiquer que, dans certains lieux et dans des circonstances favorables, il peut se produire quelques formations analogues à celles de nos masses minérales. Par exemple, lorsque dans la mer du Sud on voit de petites îles composées de masses calcaires entrelacées de coraux absolument semblables à ceux qui vivent sous l'eau, à quelques mètres plus bas, il est bien difficile de ne pas croire que ces masses ont été produites par cette même mer au-dessus de laquelle elles s'élèvent aujourd'hui. Bien des analogies semblent indiquer que plusieurs de nos calcaires coquilliers ont été déposés dans des mers peu différentes des mers actuelles. Pour terminer par un fait positif, je citerai un grès que Saussure et Spallanzani ont, en quelque sorte, vu se produire sous leurs yeux. « J'ai vu, dit Saussure, au bord  
« de la mer, sur le phare de Messine, auprès  
« du goufre de Charybde, des sables qui sont

Formations  
dans les  
mers.

« mobiles dans le moment où les flots les  
 « amoncellent sur les bords; mais qui, par le  
 « moyen du suc calcaire que la mer y in-  
 « filtre, se durcissent graduellement au point  
 « de servir à des pierres meulières. Ce fait  
 « est connu à Messine: on ne cesse de lever  
 « des pierres sur les bords, sans qu'elles s'é-  
 « puisent, ni que le rivage s'abaisse; les  
 « vagues rejettent du sable dans les vides,  
 « et, en peu d'années, ce sable s'agglutine si  
 « bien, qu'on ne peut plus distinguer les  
 « pierres de formation nouvelle d'avec celles  
 « qui sont les plus anciennes (Sauss., §. 305). »

#### ART. 2. *Des agents intérieurs.*

Les agents que le globe recèle dans son sein, et dont l'existence s'est manifestée à sa surface, ne nous sont connus que par les phénomènes des *volcans* et des *tremblements de terre*. Nous allons traiter, dans cet article, de ces deux sortes de phénomènes, et nous nous permettrons ensuite quelques observations sur leurs causes. Nous examinerons, dans la seconde section de ce chapitre, les changements qu'ils opèrent ou qu'ils peuvent avoir opérés à la superficie de la terre.

##### a) *Des volcans et des phénomènes volcaniques.*

Les volcans, ainsi que l'on sait, sont des ouvertures dans l'écorce du globe, d'où il

sort, de temps en temps, des jets de substances embrasées et des courants de *matières* fondues qui portent le nom de *laves*. Ces ouvertures sont presque toujours sur le sommet de montagnes isolées; elles ont la forme d'un entonnoir, et prennent le nom de *cratère*.

Après avoir jeté un simple coup-d'œil sur les volcans, principalement sous le rapport de leur position, nous passerons à l'examen de divers phénomènes qu'ils présentent : ce sera en quelque sorte la *physique des volcans actuels*. La nature et la composition minéralogique des terrains volcaniques seront l'objet d'un chapitre particulier dans la seconde partie de cet ouvrage.

§. 60. L'Europe ne nous présente que peu de *volcans brûlants*. Sur les côtes de la Sicile, nous voyons l'*Etna* s'élever comme un colosse jusqu'à une hauteur de 3400 mètres. En face, sur la côte d'Italie, nous avons le *Vésuve* qui n'atteint guère que le tiers de cette élévation : entre eux, dans les îles Lipari, nous trouvons le petit volcan de *Stromboli*, et les anciens volcans de *Vulcano* et *Vulcanello*, qui fument encore. Les îles de l'Archipel, à *Milo* et à *Santorin*, nous montrent également des montagnes que nos pères ont vu produire de terribles phénomènes ignés. Au nord, l'Islande, au milieu de ses neiges, nous présente l'*Hécla*, qui s'élève à environ 1200 mètres, et cinq autres volcans : il paraît qu'il en

Position  
des volcans.

existe un, plus au nord eneoere , au milieu des glaces du Groënland.

Le continent de l'Asie ne nous en montrera qu'un bien petit nombre : à peine en compte-t-on trois ou quatre sur ses côtes méridionales ou sur les bords de la mer Caspienne; il n'en existe point dans sa partie septentrionale : à l'orient, la presqu'île de Kamtschatka en renferme cinq ou six; mais c'est dans les îles qui entourent ce continent que leur nombre est considérable : il s'élève à plus de cent.

Les îles qui bordent l'Afrique, telles que l'île Bourbon, Madagascar, les îles du cap Vert, les Canaries, les Açores, en renferment eneoere plusieurs.

En Amérique, abstraction faite de ceux des Antilles, nous les verrons en très-grande partie, dans une position bien remarquable, sur le dos de cette grande Cordillère qui, semblable à une immense digue ou terrasse très-élevée, borde la partie occidentale de ce nouveau continent. Ce ne sera pas seulement par leur position, mais eneoere par leur forme colossale, par la nature des masses qui les constituent, et par celle de leurs produits, que plusieurs d'entre eux seront vraiment remarquables; il n'en sortira plus ou presque plus de torrents de feu, mais des fleuves d'eau et de boue. Le nombre total des volcans de l'Amérique est d'environ cin-

quante ; ils y sont comme par groupes : le royaume de Guatimala en présente une vingtaine, parmi lesquels le *Guatimala* s'élève à 4600 mètres ; dans le Mexique , nous en verrons six, au nombre desquels est le fameux et moderne volcan de *Jorullo* : mais c'est dans le Pérou que sont les plus considérables, il y en a sept, parmi lesquels nous citerons le *Pichincha*, élevé de près de 5000 mètres ; le *Cotopaxi*, qui s'élève à 5750 mètres, et l'*Antisana* qui en atteint 6000.

En définitive, M. Ordinaire compte 205 volcans brûlants : 107 sont dans des îles, et les 98 autres sont sur les continents, mais le long des côtes. Les plus éloignés de la mer sont ceux de l'Amérique : au Pérou, ils en sont à une trentaine de lieues ; et celui de *Popocatepec*, près de Mexico, qui d'ailleurs n'est plus qu'un volcan fumant, en est à cinquante-six.

Cette position de tous les volcans en activité au voisinage de la mer est un fait bien digne de remarque ; il le devient encore davantage, lorsqu'on observe qu'il y a des *volcans sous-marins* brûlant dans le sein des eaux : les îlots et les phénomènes que nous leur avons vu produire à Santorin, sur les côtes de l'Islande, aux Açores, etc. (1), ne laissent aucun doute sur leur existence.

---

(1) Voyez la note VIII.

Indépendamment des volcans en activité, l'intérieur de nos continents renferme un grand nombre de *volcans éteints*, mais qui présentent encore leur forme primitive, ou des restes incontestables de cette forme. Peut-être aucun pays n'en renferme plus que la France, et n'est plus intéressant sous ce rapport : il y en a plus de cent dans l'Auvergne, le Vivarais et les Cévennes; ce sont de petites montagnes coniques, composées de laves, de scories, de pierres volcaniques entassées les unes sur les autres; plusieurs présentent un cratère plus ou moins bien conservé, et quelquefois on voit comme sortir de leur pied des laves qui s'étendent à plusieurs milliers de mètres de distance, et qui ont parfaitement conservé la forme de courant : la matière qui les constitue est noire, fuligineuse, en partie scorifiée et en partie compacte (1).

Nous remarquerons encore que les volcans ne sont jamais ou presque jamais isolés : ils sont réunis par groupes. Nous venons de voir qu'il en était ainsi de ceux de l'Amérique; il en est de même de ceux de l'Asie et des divers archipels : l'Europe, en Islande, dans l'Italie méridionale et dans les îles de la Grèce, présente trois de ces groupes de la manière

---

(1) Voyez la description que j'ai donnée de ceux de l'Auvergne, dans le *Journal de physique*, tom. 58.



la plus distincte. Quelquefois les volcans, réunis à la suite les uns des autres dans un même alignement, montrent comme une traînée : j'en ai signalé une bien remarquable parmi les volcans éteints des environs du Puy-de-Dôme : M. de Humboldt en a observé de pareilles en Amérique.

§. 61. Les volcans ne lancent pas des feux continuels ; il n'en sort pas toujours des laves : ils restent des siècles entiers dans l'inaction et comme dans le sommeil. Le Vésuve était éteint depuis un temps immémorial, lorsque, sortant de sa longue léthargie, il se ralluma tout-à-coup, sous le règne de Titus, et ensevelit les villes de Pompeia, d'Herculanum et de Stabies sous le produit de ses déjections : il s'assoupit de nouveau à la fin du quinzième siècle, et en 1630 lorsqu'il reprit son action, sa cime était habitée et couverte de grands bois. Les habitants de Catane regardaient comme des fables les récits de l'histoire sur des éruptions de l'Etna, à l'époque où leur ville fut ravagée et en partie détruite par les feux de ce volcan.

*Idee générale des phénomènes volcaniques.*

Les mugissemens et les bruits souterrains, l'apparition ou l'augmentation de la fumée qui sort du cratère, sont ordinairement les premiers symptômes des crises volcaniques. Bientôt le bruit devient plus fort, la terre tremble, elle éprouve des secousses, et tout annonce qu'elle est en travail : la fumée re-

double, elle s'épaissit, et se charge de cendres : lorsque l'air est tranquille, on la voit s'élever, sous la forme d'une immense colonne, jusqu'à une très-grande hauteur ; là, se trouvant dans un air plus rare, elle cesse de monter ; sa partie supérieure, en se dilatant, forme comme une cime touffue et épanouie, placée sur une tige élancée (1). D'autres fois la fumée se disperse dans les airs : elle y forme d'immenses et épais nuages qui obscurcissent le jour, et qui couvrent de ténèbres toute la contrée d'alentour. Ces colonnes et ces nuages sont souvent traversés par d'énormes jets de sables embrasés, semblables à des flammes, et qui s'élèvent à des hauteurs extraordinaires ; quelquefois ils sont sillonnés par les éclairs, et de toutes parts ils lancent la foudre avec fracas. Bientôt arrivent les projections de pierres incandescentes et de masses en fusion : ce sont comme d'immenses gerbes d'artifice qui se succèdent les unes aux autres, à des intervalles plus ou moins distants, et qui sortent du volcan avec une explosion souvent très-forte ; elles s'élèvent dans l'air en s'épanouissant, et retombent tout à l'entour de la bouche volcanique sous la forme d'une pluie de cendre et d'une grêle de scories ou de pierres.

---

(1) *Cujus similitudinem et formam non alia magis arbor quam pinus expressit*, dit Pliny le jeune, témoin de la première éruption du Vésuve, éruption qui causa la mort de Pliny le naturaliste, son oncle.

Cependant les secousses et les tremblements continuent et redoublent : au milieu de ces convulsions, et dans ces accès, la matière fondue qui remplissait les fournaies souterraines, déjà portée dans l'intérieur de la montagne, y est soulevée par les fluides élastiques; elle y monte jusque dans le cratère; elle le remplit, et, débordant par-dessus la partie la moins élevée de cette énorme coupe, elle se répand sur les flancs du volcan; elle y descend tantôt avec une vitesse extrême, tantôt, et plus souvent, comme un fleuve majestueux qui roule tranquillement de paisibles ondes. Très-fréquemment, lorsque la lave s'élève, les parois qui la contiennent, ne pouvant résister à son immense pression ou à sa chaleur, cèdent et s'entr'ouvrent : elle jaillit et sort comme un torrent impétueux par cette nouvelle issue; des fleuves et des torrents de feu gagnent le pied de la montagne; ils se répandent sur le sol voisin, en entraînant ou brûlant tout ce qui se trouve sur leur passage, en franchissant ou renversant tous les obstacles qui s'opposent à leur cours : ils ne semblent respecter que les lois du mouvement, en vertu desquelles les fluides se portent successivement sur des niveaux de moins en moins élevés.

On dirait que, dans ces terribles moments, la nature a voulu montrer à l'homme et mettre en activité tous ses moyens de des-

truction. Au milieu des torrents de feu, d'énormes courants d'eau et de boue sortiront quelquefois des volcans, et des déluges tombant de l'atmosphère viendront augmenter le ravage, dévaster des champs que les laves avaient épargnés, et porter la désolation dans des lieux qui s'estimaient déjà heureux d'avoir échappé aux fléaux de l'éruption. Des gaz méphitiques, des exhalaisons malfaisantes se répandront quelquefois dans des lieux enfoncés; ils y feront périr les animaux, ils y détruiront toute végétation, et y mettront le comble au malheur et à la misère;

Après l'émission des laves, la terre semble débarrassée du mal qui la tourmentait; les tremblements cessent, les explosions et les déjections diminuent pendant quelque temps, et le volcan jouit d'un instant de repos: mais bientôt un nouvel accès vient reproduire, et souvent d'une manière plus terrible encore, les mêmes phénomènes, et cet état de choses se continue pendant un temps plus ou moins considérable. Enfin la crise cesse, et le volcan reprend définitivement sa tranquillité primitive.

Examinons avec quelque détail ce que chacun des phénomènes que nous venons de signaler présente de plus remarquable. Nous traiterons successivement des produits des *déjections*, c'est-à-dire, des matières lancées

par les volcans dans l'atmosphère, et des produits des *éruptions* ou des laves qu'ils versent au dehors.

§. 62. Les énormes colonnes de fumée DÉJECTIONS.  
qu'on voit sortir du cratère, quelquefois avec Fumée.  
une rapidité extraordinaire, sont principalement composées de vapeur aqueuse. Cette vapeur est habituellement chargée de quelques substances gazeuses, et particulièrement de gaz hydrogène, quelquefois aussi de gaz acide carbonique; souvent encore elle est acide : ordinairement c'est de l'acide sulfureux ; mais fréquemment aussi, et surtout au Vésuve, c'est de l'acide hydrochlorique. Quelquefois la fumée des volcans est noire et fuligineuse : MM. de Humboldt, de Buch et Gay-Lussac, étant sur les bords du cratère du Vésuve, en 1805, furent frappés de l'odeur asphaltique des bouffées de fumée qui les enveloppaient de temps à autre (1); mais communément elle est blanchâtre et contient une très-grande quantité de cendres volcaniques.

§. 63. Ces cendres, qui ne paraissent être Cendres.  
que la substance même des laves réduite à un terme extrême de division mécanique, sont formées de particules pulvérulentes de couleur grise, d'une finesse extraordinaire, et faisant pâte avec l'eau ; elles sont toujours

---

(1) *Bibliothèque britannique*, tom. 30.

mêlées d'une plus ou moins grande quantité de sable, ce qui leur donne la couleur noirâtre qu'elles présentent quelquefois.

Les torrents de gaz et de vapeur qui sortent des cratères, les entraînent avec eux, les portent dans l'atmosphère, où elles forment d'immenses nuages, quelquefois assez épais pour dérober aux contrées voisines la lumière du jour. Dans l'éruption de l'Hécla, en 1766, de pareils nuages produisirent une telle obscurité, qu'à Glaumba, distant de plus de cinquante lieues de la montagne, on ne pouvait se conduire qu'à tâtons (1). Lors de l'éruption du Vésuve, en 1794, à Caserte, et par conséquent à quatre lieues, on ne pouvait marcher qu'à la lueur des flambeaux (2). Le 1.<sup>er</sup> Mai 1812, un nuage de cendres et de sables volcaniques, venant d'un volcan de l'île Saint-Vincent, couvrit toute la Barbade, et y répandit une obscurité si profonde qu'à midi, en plein air, on ne pouvait apercevoir les arbres et autres objets près desquels on était, pas même un mouchoir blanc placé à six pouces des yeux (3).

La distance à laquelle les matières qui forment ces sortes de nuages sont portées par les vents et les courants de l'atmosphère, est vraiment extraordinaire : il y a plus de vingt

---

(1) Olausen's *Reise durch Island*.

(2) Breislak, *Voyages dans la Campanie*.

(3) *Annales de physique et de chimie*, Octobre 1818.

lieues de Saint-Vincent à la Barbade ; il y en a cinquante de l'Hécla à Glaumba. Procope rapporte qu'en 472 les cendres du Vésuve furent portées jusqu'à Constantinople, c'est-à-dire à deux cent cinquante lieues ; mais ce qui est positif, c'est qu'en 1794 elles enveloppèrent de nuages épais le fond de la Calabre, situé à cinquante lieues de distance : un grand nombre de relations portent à plus de cent lieues celles qui sont lancées par des volcans de l'Asie et de l'Amérique.

Ces pluies produisent, dans les pays où elles tombent, des couches terreuses souvent fort épaisses, qui, tassées et pénétrées par l'eau, forment les *tufs volcaniques*, dont nous traiterons dans la seconde partie de cet ouvrage.

§. 64. Les sables volcaniques sont de très-petites portions de la matière des laves qui, lancées sous forme de gouttelettes dans l'air, s'y sont figées : ce ne sont que de très-petites scories, ou des fragments de scories ordinaires. Ils sont, en outre, mêlés de beaucoup de petits cristaux d'augite et de feldspath, ou de fragments de ces cristaux.

La quantité que les volcans en rejettent est immense : ils forment la majeure partie des déjections et de la masse de plusieurs montagnes volcaniques, de l'Etna, par exemple, suivant Dolomieu. Les plus ténus se mêlent avec les cendres et font partie des

Sables volcaniques.

nuages dont nous avons parlé dans le paragraphe précédent. D'autres, s'accumulant en trop grande quantité pour se soutenir sur les flancs inclinés de la montagne, glissent et se répandent à son pied. Dans l'éruption du Vésuve de 1822, un pareil courant de sable encore incandescent fut pris de loin pour un torrent de lave.

Scories.

§. 65. Les scories sont également des portions de la matière fondue dans les fournaises volcaniques et qui s'est élevée jusqu'au cratère. Les gaz qui viennent de ces fournaises, traversant le bain de lave avec une vitesse et une force extraordinaires, entraînent quelques parties de cette matière visqueuse, et les emportent avec eux dans l'atmosphère. Elles s'y divisent encore, par suite de la résistance que l'air leur fait éprouver; et, en s'y figeant, elles prennent l'aspect boursoufflé et haché qu'ont si souvent les scories de nos forges, ou que présentent le plomb et l'étain qu'on jette fondus dans de l'eau. Quelquefois le bain de matière en fusion, qui est dans le cratère ou dans le volcan, s'était déjà figé à sa superficie, et il s'était recouvert d'une croûte plus ou moins épaisse; les gaz, en se dégageant, la rompent et en lancent les fragments dans l'atmosphère: ils y portent également les scories et les cristaux qui pouvaient s'être déjà formés dans le bain.

Lorsque la matière des laves est lancée à



l'état de mollesse, et c'est ce qui a lieu le plus souvent, il lui arrive quelquefois, en se figeant dans l'air, de prendre la forme de gouttes, de larmes et de sphéroïdes allongés, auxquels on a donné le nom de *bombes volcaniques* : les volcans éteints de l'Auvergne en présentent une très-grande quantité; leur surface est lisse, et l'intérieur est poreux. Souvent les scories sont encore molles lorsqu'elles tombent sur les flancs de la montagne, et elles s'aplatissent par l'effet de leur chute. M. de Buch, étant sur le Vésuve en 1805, voyait des gerbes de matière embrasée sortir, par intervalles, d'une petite bouche; elles retombaient en larmes encore incandescentes, qu'on pouvait pétrir et mouler aisément.

Les scories sont accompagnées d'une grande quantité de cristaux, principalement d'augite.

§. 66. Les volcans lancent quelquefois des pierres dont plusieurs ne portent aucun indice de fusion : ce sont vraisemblablement des fragments des roches qui forment les parois des cavités intérieures; ils auront été arrachés et *projetés* par quelque courant de fluides élastiques. C'est ainsi que sur le Vésuve on trouve un grand nombre de fragments de calcaire grenu et de roches micacées, rejetés par le volcan, et ne portant pas le moindre indice d'altération.

Pierres non  
fondues.

Force de  
projection  
des  
volcans.

§. 67. Quelle est donc l'intensité de cette force qui jette une telle quantité de matières à une si grande hauteur? J'ai voulu la déterminer : à cet effet, j'ai cherché, dans les diverses relations d'éruptions volcaniques, les hauteurs ou les distances auxquelles pouvaient avoir été portées des masses d'une grandeur connue ; mais je n'ai rien trouvé d'assez précis à cet égard. Il est d'ailleurs d'autres données nécessaires à la solution du problème, telles que le point d'où les masses ont été lancées, l'angle sous lequel elles l'ont été, etc., sur lesquelles il nous est impossible d'avoir des documens positifs. Cependant, en prenant les faits les plus précis que j'ai trouvés, en y ajoutant les suppositions qui, dans les limites de la vraisemblance, devaient donner la plus grande vitesse de projection, et en y appliquant les formules les plus exactes de la balistique, je n'ai pas trouvé que cette plus grande vitesse, pour le Vésuve et l'Etna, fût égale à celle qu'ont les boulets au sortir de nos canons, vitesse qui est de quatre à cinq cents mètres par seconde.

Les plus grands effets de la projection du Vésuve, sous le rapport de la vitesse, consistent peut-être en de grosses pierres lancées, dit-on, à une hauteur égale à la sienne, c'est-à-dire à 1200 mètres au-dessus du cratère. Le gigantesque Cotopaxi a porté à trois lieues

de distance un quartier de roche d'environ cent mètres cubes (1).

Si le pic de Ténériffe, dont la hauteur au-dessus de l'Océan est de 3700 mètres, versait des laves par-dessus le cratère (et ce n'est pas arrivé de mémoire d'homme) la force qui soulèverait la colonne, à partir du niveau de la mer, équivaldrait à mille fois la pression de l'atmosphère; et si une ouverture s'opérait dans le volcan, à ce niveau, la lave, ainsi que les pierres et les corps qu'elle pousserait devant elle, en sortiraient avec une vitesse de 270 mètres par seconde seulement.

Tous les phénomènes qui produisent et accompagnent la formation des laves, ainsi que leur élévation dans les montagnes volcaniques, étant entièrement dérobés à nos observations, nous aurons simplement à considérer les faits que les laves nous présentent sur les montagnes volcaniques et sur les terrains où elles se répandent.

§. 68. L'impossibilité de voir la lave lorsqu'elle est dans les foyers volcaniques, et le danger d'approcher des cratères lorsqu'elle s'y élève au milieu des tourmentes, rendent extrêmement rares, et par conséquent extrêmement précieuses, le peu d'observations faites sur leur matière en fusion, lorsqu'elle

DES  
ÉRUPTIONS  
OU  
DES LAVES.

De la lave  
dans la mon-  
tagne volca-  
nique.

(1) La Condamine, *Voyage à l'équateur*.

est encore dans l'intérieur de la montagne. Je cite quelques-unes de ces observations.

Dans l'éruption du Vésuve de 1753, on vit dans la partie inférieure du cratère une matière liquide et incandescente, entièrement semblable à celle d'un métal fondu dans nos fourneaux : elle bouillonnait continuellement et avec violence, et présentait l'aspect d'un lac médiocrement agité. De moment en moment il s'élançait, du milieu, de gros jets de cette même matière, qui s'élevaient jusqu'à trente ou quarante pieds, s'y épanouissaient et retombaient sous différents arcs.

Spallanzani, étant monté en 1788 à la cime de l'Etna, dans un moment où le volcan était entièrement tranquille, put entrer dans le cratère : au fond, il vit une ouverture d'une trentaine de pieds, d'où il s'élevait perpendiculairement une colonne de fumée très-blanche, qui pouvait avoir vingt pieds de diamètre dans sa partie inférieure. S'étant approché du bord, dans le temps où la colonne était poussée par le vent dans un sens opposé, il aperçut, au fond de l'ouverture, une matière liquide, embrasée, qui avait un mouvement d'ébullition très-léger ; on la voyait descendre et monter presque jusqu'au cratère : c'était de la lave. Les pierres qu'on y jetait faisaient entendre un bruit pareil à celui qu'elles auraient produit si elles étaient tombées sur une pâte.

Le même observateur, se trouvant sur le sommet de Stromboli, fut assez heureux pour y bien voir les mouvements de la lave qui remplissait alors le cratère. Elle ressemblait à du bronze fondu : elle s'abaissait et s'élevait par des oscillations continuelles, dont les plus grandes n'étaient pas de vingt pieds. Lorsqu'elle arrivait à vingt-cinq ou trente pieds des bords supérieurs du cratère, sa surface se gonflait; il s'y formait de grosses bulles qui avaient souvent quelques pieds de diamètre, et qui, en éclatant, faisaient un bruit assez semblable à celui d'un coup de tonnerre qui ne se répéterait pas. Au moment de l'explosion, une masse de lave, divisée en mille morceaux, s'élançait avec une vitesse inexprimable, en jetant beaucoup de fumée et d'étincelles. Aussitôt après, la lave baissait, puis elle remontait, et produisait une nouvelle explosion et un nouveau jet; ainsi continuellement. Elle descendait en silence; mais, lorsqu'elle remontait et qu'elle commençait à se tuméfier, elle faisait entendre un bruissement pareil à celui d'un liquide qui s'extravase par l'effet d'une forte ébullition (1). Cet intéressant détail fait évidemment voir que l'ascension de la lave, ses explosions et ses jets ne sont qu'un effet de la production et du dégagement de fluides élastiques.

---

(1) Spallanzani, *Voyages dans les Deux-Siciles*, ch. VIII et X.

Sortie  
et marche  
des laves.

§. 69. Quelque prodigieuse que soit la force de ces fluides, elle l'est rarement assez, dans les grands volcans, pour élever la lave jusqu'à leur cime; ou plutôt les flancs de la montagne n'offrent pas, à cette longue et pesante colonne de pierres fondues, une résistance suffisante pour la contenir: elle presse ou fond les parois qui l'entourent, et elle se fait ainsi une ouverture par où elle sort avec une rapidité extraordinaire; sa surface est alors nette, incandescente, et pareille à celle d'un métal ou d'un verre fondu. A aucune des époques qui nous sont connues, le pic de Ténériffe et les grands volcans d'Amérique n'ont versé de lave par leur cratère; et sur dix éruptions de l'Etna, neuf se font par le flanc de la montagne. Mais il n'en est pas de même du Vésuve et des volcans encore plus petits: habituellement la lave en sort en débordant par-dessus le cratère, et est couverte de scories qui nagent à sa surface; sa couleur est d'un rouge brun, et son mouvement se fait avec lenteur.

En descendant le long des flancs de la montagne, les courants se creusent un lit dans les sables qu'ils traversent; ils entraînent une partie des scories qui se trouvent sur leur passage. Arrivés au pied, leur vitesse se ralentit; ils s'étendent en largeur ou se divisent en plusieurs branches, suivant la nature et la pente du terrain sur lequel ils coulent.

D'après les observations de Dolomieu, leur

mouvement progressif se fait de deux manières : tantôt la matière qui les constitue se roule sur elle-même, ce qui est au-dessus passant successivement au-dessous ; tantôt elle coule, comme sous un pont, au-dessous d'une surface déjà figée. Si, dans ce dernier cas, la source tarit, et que la lave fluide continue à descendre, l'espace recouvert par cette surface ou cette voûte présentera l'image d'une longue galerie : plus souvent encore, la matière, au lieu de tarir, augmente ; alors le courant s'enfle, il soulève la voûte, il la brise et en emporte les débris.

Quelquefois les courants cheminent tranquillement en conservant une surface unie, sur laquelle on ne voit que de la fumée et quelques jets de flammes ; mais le plus souvent ils bouillonnent en s'avancant, et lancent des éclaboussures de tous côtés : leur surface se tuméscit, se couvre de grandes et nombreuses boursouflures. Ailleurs, de petits tourbillons y produisent des dépressions en entonnoir : si elle vient à se figer dans cet état, elle forme une de ces croûtes raboteuses, hérissées et scorifiées, que présentent la plupart des courants. L'intérieur, éprouvant moins d'agitation et étant soumis à une plus forte compression, est moins boursoufflé ; les pores y sont plus petits et en moindre quantité, et cela d'une manière d'autant plus sensible qu'on s'enfonce davantage au-dessous

de la surface. Très-souvent, et par suite du mouvement progressif, ainsi que de la viscosité de la matière, ces pores, ou plutôt ces cavités bulleuses, sont allongés dans le sens du courant, et leurs parois, après le refroidissement, sont lisses et comme émaillées.

Vitesse  
des  
courants.

§. 70. La vitesse avec laquelle se meuvent les courants de lave, présente les plus grandes variations, en faisant même abstraction de celle en vertu de laquelle la lave jaillit par les ouvertures qu'elle se fait sur les flancs de la montagne. La vitesse dépend de la pente du terrain sur lequel se fait le mouvement, ainsi que de la quantité et de la viscosité de la matière. Au Vésuve, M. de la Torre a vu des courants parcourir 800 mètres dans une heure : Hamilton en a observé un qui faisait 1800 mètres dans le même temps ; l'éruption de 1776 en présenta un autre, qui fit un trajet de plus de 2000 mètres en quatorze minutes. M. de Buch, témoin de l'éruption de 1805, vit un torrent s'élancer de la cime avec une rapidité extraordinaire ; en trois heures de temps, il fut près des bords de la mer, à plus de 7000 mètres, en ligne droite, du point de départ. Cet auteur observe que l'histoire du Vésuve offre à peine un exemple d'une pareille rapidité (1). Au reste, ceux que nous venons de citer présen-

---

(1) *Bibliothèque britannique*, tom. 30.



tent des vitesses extraordinaires; car, en général, les laves se meuvent lentement: celles de l'Etna, coulant sur un terrain incliné, passent pour aller vite, lorsqu'elles parcourent 400 mètres en une heure. Dans des terrains plats, elles emploient quelquefois des journées entières pour s'avancer de quelques pas: Dolomieu en cite une qui a mis deux ans pour parcourir 3800 mètres.

§. 71. Ce peu de vitesse des laves provient principalement de leur viscosité. Quelquefois, à la sortie du volcan, leur fluidité paraît semblable à celle d'une eau jaillissant à travers une petite ouverture; mais bientôt elle se perd, et la matière devient d'une viscosité et d'une ténacité extraordinaires. De très-grosses pierres, lancées par Spallanzani sur une lave en mouvement, n'y produisaient presque aucune dépression: Hamilton avait de la peine à enfoncer un bâton dans la lave de 1765; et il a traversé un courant qui avait une vingtaine de pas de large, et qui coulait encore, lentement à la vérité.

Viscosité  
des laves.

Au reste, il faut observer que, dans ces cas, le courant est réellement recouvert d'une croûte de matière plus ou moins épaissie et plus ou moins figée; à travers ses crevasses, on voit couler au-dessous la lave fluide et incandescente; elle sort en jets, si on perce la croûte.

Cette qualité pâteuse des laves fait que leurs

courants conservent souvent sur leurs bords une grande épaisseur : il n'est pas rare qu'elle soit de huit et dix mètres ; elle était de trente sur quelques parties du grand courant qui ravagea une partie de l'Islande en 1783.

Lenteur de  
refroidisse-  
ment.

§. 72. La lenteur avec laquelle les laves se refroidissent n'est pas moins remarquable que celle avec laquelle elles se meuvent. Si leur surface perd bientôt sa fluidité et sa haute température, il n'en est pas de même de leur intérieur : la chaleur s'y concentre et s'y conserve pendant des années entières. On cite des courants qui coulaient encore dix ans après leur sortie du cratère ; des laves fumaient encore sur l'Etna vingt-six ans après l'éruption. En traversant, sur cette montagne, une lave qui ne coulait plus depuis onze mois, Spallanzani vit, à travers les gerçures de sa surface, qu'elle était encore rouge, et un bâton qu'il y enfonça prit feu. Des morceaux de bois, jetés par Hamilton dans les fentes d'une lave du Vésuve sortie depuis trois ans et demi et éloignée de deux lieues du cratère, s'enflammèrent de suite.

Chaleur des  
laves.

§. 73. Quelques naturalistes, frappés du peu de chaleur que les courants de lave répandent autour d'eux (1), et ayant trouvé,

---

(1) Un thermomètre (centigrade) approché, en Février 1822, à douze pieds d'un grand courant de lave sorti depuis deux jours, ne s'est élevé qu'à 34 degrés.

dans leur masse, des substances que le feu de nos foyers détruit ou dénature promptement, et qui y étaient presque intactes, ont révoqué en doute leur grande chaleur. Ils ont même cru qu'elles renfermaient quelque principe de fluidité autre que le calorique : tel serait le soufre, dans l'opinion de Dolomieu.

Mais nous avons déjà remarqué que c'est la croûte dont se revêtent bientôt les courants de lave, qui en intercepte la chaleur : car, au sortir du cratère, lorsque leur surface est nette et incandescente, elle répand tout à l'entour une chaleur très-considérable, et qui ne permet pas d'en approcher, surtout lorsqu'on est sous le vent. Cette prompte interception de la chaleur, par une écorce figée, n'a rien d'extraordinaire ; elle se voit tous les jours dans nos fonderies de plomb et de cuivre : bientôt après que la matière fondue est passée du fourneau dans le bassin de réception, elle s'y couvre d'une croûte de quelques lignes d'épaisseur, qui arrête la chaleur au point que l'on passe à côté sans s'apercevoir qu'on est près d'un bassin rempli de pierres, de soufre et de métal fondus ; mais, à l'instant où l'on enlève cette croûte, la matière qui est au-dessous présente une surface ardente dont la chaleur oblige de s'éloigner à une distance considérable.

Les inductions que l'on voudrait tirer des

corps enveloppés par les laves, bien loin de prouver leur peu de chaleur, me paraissent indiquer qu'elles en ont une considérable. Les pierres à fusil saisies par le courant de lave qui détruisit *Torre del Greco* en 1794, ont été trouvées fondues ou vitrifiées à leur superficie; des morceaux de fer malléable, retirés de ce même courant, avaient triplé de volume, et étaient, dans l'intérieur, cristallisés en octaèdres; dans des fragments de métal de cloche et de laiton, le cuivre, l'étain et le zinc s'étaient séparés, etc. (1) Si des morceaux de pierre calcaire empâtés par les laves ont conservé leur acide carbonique, les expériences de Hall expliquent ce fait, et on n'en saurait rien inférer sur l'intensité de la chaleur. Il en est de même de morceaux de bois trouvés dans les courants et qui y sont simplement plus ou moins charbonnés.

L'homogénéité des laves et leur cristallisation sont des preuves certaines de la parfaite fusion de toutes les substances qui sont entrées dans leur composition, et par conséquent de l'intensité du feu des volcans.

Grandeur  
des courants.

§. 74. L'on ne peut rien dire de général sur la grandeur des courants de lave. Dans le même volcan, elle présente les plus grandes variations; et, d'un volcan à l'autre, elle est,

---

(1) Breislak. *Voyages dans la Campanie*, tom. 1.<sup>er</sup>, pag. 279.

en quelque sorte, proportionnée à celle du volcan.

Le plus grand courant sorti du Vésuve, au rapport d'Hamilton, a environ quatorze mille mètres de long; celui de l'éruption de 1805 en avait huit mille; celui de 1794 avait en longueur quatre mille deux cents mètres, en largeur, de cent à quatre cents, et en épaisseur de huit à dix : celui qui sortit de l'Etna en 1787, avait un volume quatre fois plus considérable; et Dolomieu rapporte que ce volcan en a fourni un de plus de dix lieues de long. Mais le plus considérable de ceux qui me sont connus, est celui qui a couvert, dans l'Islande, en 1783, une étendue de vingt lieues de long sur quatre de large.

Les courants, en s'entassant les uns sur les autres autour des bouches volcaniques, et en s'y entremêlant avec les produits de leurs déjections, y forment des montagnes, dont ils sont comme la charpente.

§. 75. Les histoires des éruptions volcaniques font trop souvent mention des torrens d'eau et de boue vomis par les volcans, et ce phénomène est trop extraordinaire, pour ne pas fixer notre attention pendant quelques instants.

Éruptions aqueuses et boueuses.

M. Breislak remarque, au sujet de ces torrens, et avec beaucoup de raison, que la plupart d'entre eux, et en particulier ceux qu'on dit être sortis du Vésuve ou de l'Etna,

ne sont dus qu'aux grandes averses qui ont souvent lieu dans les crises volcaniques, et dont nous parlerons dans peu. Leur eau, en se mêlant avec les cendres et les sables, aura formé des courants plus ou moins chargés de terre, qui seront descendus sur les flancs de la montagne, se seront répandus à son pied, et l'on aura présumé qu'ils avaient été vomis par le volcan.

Cependant on trouve quelques récits assez positifs qui semblent indiquer qu'effectivement il est sorti de pareils torrents des bouches volcaniques. En 1755, par exemple, les magistrats du pays, dressant un procès-verbal d'une éruption de l'Etna, disent qu'il en sortit un grand courant d'eau brûlante et salée, qui coula pendant un demi-quart d'heure : il était si considérable qu'ils lui donnèrent le nom de *Nilo d'aqua* (1). Dolomieu et Hamilton ont observé, sur les flancs de la même montagne, les traces d'un épouvantable courant d'eau chaude qui sortit du grand cratère : ce sont les propres expressions de la traduction française des *Campi phlegrei* (pag. 49). Spallanzani, cet excellent observateur et appréciateur des phénomènes volcaniques, est porté à croire qu'une partie des tufs de l'Italie méridionale doit son origine à des éruptions boueuses.

---

(1) *Mémoires des savants étrangers*, tom. 4.

Les volcans de l'Islande, de l'Amérique, etc., dont la cime s'élève au-dessus de la région des neiges inférieures, répandent souvent autour d'eux des torrents qui inondent le pays et qui y font des ravages extraordinaires : les historiens les ont souvent donnés comme vomis par les cratères; mais, presque toujours, ils doivent leur origine aux grands amas de neiges qui couvrent les cimes volcaniques, et qui sont fondus brusquement par la forte chaleur de la montagne, lorsque le volcan reprend son activité. Bouguer et la Condamine ont vu ces terribles torrents raviner tout un pays; et le dernier de ces savants rapporte que, six heures après une explosion du Cotopaxi, un village situé à trente lieues de distance en ligne droite, et peut être à soixante, en suivant les sinuosités du terrain, fut entièrement emporté (1).

Souvent aussi les eaux filtrent dans la montagne; elles s'y rassemblent dans des réservoirs particuliers; et, à l'époque des explosions, ou lorsque la montagne vient à se fendre par suite de quelque secousse, elles sortent et couvrent les contrées voisines. Dans le tremblement de terre qui renversa Lima en 1746, quatre volcans s'ouvrirent à Lucanas et dans la montagne de la Conception, et ils occasionèrent une affreuse inondation (2).

---

(1) *Voyage à l'équateur.*

(2) Antonio Ulloa, *Voyage en Amérique.*

Les volcans du royaume de Quito présentent souvent le même phénomène; mais il y est accompagné de circonstances si extraordinaires, qu'il convient d'entrer dans quelques détails à ce sujet: nous allons le faire en prenant pour guide une note de M. de Humboldt, insérée dans les œuvres de Klaproth, et des renseignements particuliers que ce savant a bien voulu nous donner.

Les cônes énormes du Cotopaxi, du Pichincha, du Tungouragoua, etc., ne sont, en quelque sorte, que les cimes des volcans auxquelles ils appartiennent, et dont les flancs sont vraisemblablement encaissés dans la grande masse des Cordillères. De mémoire d'homme ils n'ont vomé de vraies laves; cependant M. de Humboldt en a vu des courants sur le *Sangay* et même sur l'*Antisana*. On dirait que les agents volcaniques, qui ont rarement la force d'élever la colonne de lave jusqu'à la cime de l'Etna et du Pic de Ténériffe, l'auront encore moins dans des volcans d'une hauteur presque double: à l'Etna, à Ténériffe, etc., la lave peut se faire une ouverture à la partie inférieure de la montagne, et se répandre ainsi à l'extérieur; mais il ne saurait en être de même dans des volcans dont les flancs sont renforcés, jusqu'à une hauteur de près de trois mille mètres, de toute l'épaisseur des Cordillères. Ces vol-



cans se bornent à lancer des cendres, des scories et des ponce<sup>(1)</sup> : ils vomissent aussi d'immenses quantités d'eau et de boue, mais bien plus souvent par les ouvertures qui se font sur les côtés du cône que par le cratère. Ces eaux boueuses formaient comme de grands lacs ou de grandes mares dans les diverses cavités que ces énormes montagnes renferment dans leurs flancs. Elles en sortent, ainsi que nous l'avons dit, lorsqu'un accident leur ouvre une communication avec le dehors : c'est ainsi qu'en 1698 le volcan de Carguarazo, voisin et peut-être partie du Chimborazo, s'écroula et couvrit de fange dix-huit lieues carrées de pays. De pareilles eaux bourbeuses sont encore renfermées dans des terrains de la même contrée, qui sont de nature volcanique, mais qui ne présentent plus aujourd'hui aucun indice de feu ; et elles sont également vomies à la surface lors des grandes commotions du sol. Dans le Pérou et à Quito, ce n'est pas par le feu et par les courants de matières embrasées que les volcans exercent leurs ravages ; c'est par l'eau et par d'énormes coulées de boue. Cette substance, d'une consistance d'abord semblable à celle de la bouillie, mais qui durcit bientôt, porte le nom de *moya* dans le pays : elle

(1) Ils jettent encore des flammes, ou des matières embrasées qui présentent l'image des flammes. La Condamine en a vu sortir du Cotopaxi et s'élever à mille mètres au-dessus de sa cime.

présente deux phénomènes bien extraordinaires. Quelquefois, comme dans le moya qui inonda la contrée de Péliléo et qui détruisit le village de ce nom, lors du tremblement de terre de 1797, elle contient un principe combustible qui la rend noirâtre, tachante, et qui y est en si grande quantité que les habitants se servent de ce moya comme d'une terre tourbeuse pour leur chauffage : nous ferons connaître, dans la suite, la composition de cette singulière substance. Très-souvent les eaux boueuses, sortant des cavernes souterraines, amènent avec elles une grande quantité de petits poissons : ce sont des espèces de pimelodes (*pimelodes cyclopum*, Humboldt), gluants, et dont les plus grands n'ont pas plus de quatre pouces : leur nombre est quelquefois si considérable que leur putréfaction occasionne des maladies dans le pays. Ils sont d'ailleurs les mêmes que ceux qui vivent dans les ruisseaux de la contrée. Qu'est-ce qui les a introduits dans les lacs volcaniques ? Il paraît qu'il y a quelques communications entre le niveau supérieur de ces lacs et la superficie du sol extérieur. Mais qui a pu les élever du niveau de cette superficie à la cime des volcans, c'est-à-dire, à deux ou trois mille mètres de hauteur ; car ils sortent quelquefois par le cratère, et ils en sortent très-peu endommagés ? Il est bien difficile de le concevoir.

D'après tout ce qui vient d'être dit dans ce paragraphe, il ne paraît pas que les boues qui sortent des volcans, viennent de ces mêmes cavernes, enfoncées sous terre, où les feux volcaniques ont leur foyer et préparent la matière des laves : les éruptions boueuses, ainsi que la plupart des éruptions aqueuses, ne seraient donc que des accessoires aux phénomènes volcaniques.

§. 76. Les déjections de boue, d'eau et de gaz que la surface de la terre présente en quelques endroits, seront plus accessoires encore à ces phénomènes ; elles leur sont même étrangères. Cependant, comme elles sont un effet des agents qui exercent une action dans l'intérieur de la terre, nous allons en dire quelques mots.

Dans quelques contrées, on voit sortir du sol des jets d'eau poussés par des gaz et chargés d'une terre qui, en se déposant sous forme de boue, dans les environs et principalement autour des ouvertures qui l'ont vomie, forme des cônes, lesquels rappellent, sur une échelle extrêmement petite, il est vrai, l'idée des cônes volcaniques, et que l'on a en conséquence nommés *volcans d'air*.

Un des plus remarquables est celui de Macalouba, en Sicile, dont Dolomieu nous a donné la description. Il consiste en un monticule ou énorme tas de boue desséchée d'une cinquantaine de mètres de haut. Sa partie supérieure, qui a huit cents mètres de circuit, présente une multitude de petits cônes dont les plus grands n'ont pas un mètre ; ils ont un petit cratère plein d'une argile délayée, qui est, de moment en moment, traversée par de grosses bulles de gaz, lesquelles, crevant avec explosion, la rejettent de droite et de gauche. On a vu ces explosions porter des jets de boue jusqu'à une soixantaine de mètres de hauteur.

Les environs de Modène présentent un grand nombre de ces petits volcans de boue ; leur hauteur n'est que de quelques pieds ; ils portent le nom de *salses*, à cause de la saure de

Petits vol-  
cans d'air  
et de boue.

Salses.

l'eau qu'ils répandent, salure qui a été reconnue aussi à Macalouba et dans la plupart des éjections boueuses des autres lieux. Ces salses ont été décrites dans le plus grand détail par Spallanzani qui les a soigneusement observées. Dans leurs grands paroxysmes, elles lancent, à quelques mètres de distance, des pierres de plusieurs quintaux, et elles vomissent des courants de boue qui s'étendent jusqu'à mille mètres : ces fortes explosions produisent de petits tremblements de terre dans le voisinage. Le gaz qui les occasionne est du gaz hydrogène chargé de pétrole et d'un peu d'acide carbonique (1).

Pallas a été à même d'observer de pareils volcans d'air en Crimée, notamment dans l'île Taman : en 1794, un d'eux se rouvrit avec un bruit semblable à celui du tonnerre ; il en sortit de la fumée et des flammes qui s'élevèrent à plus de cent mètres ; il lança, à de grandes distances, de gros blocs de limon desséché, et vomit des courants d'une vase bitumineuse dont un avait huit cents mètres. Il existe de pareils volcans boueux à Java, à la Trinité, etc. On les retrouve en Amérique : dans la province de Carthagène, au milieu d'une plaine élevée, M. de Humboldt a vu une vingtaine de petits cônes dont la hauteur était de sept à huit mètres ; ils y portent le nom de *volcanillos* ; ils sont formés d'une argile bleuâtre, et leur sommité présente une ouverture remplie d'eau ; à la surface de laquelle l'air vient crever avec explosion, en lançant souvent de la boue.

Les salses sont évidemment dues, d'après ce qui vient d'être dit, et d'après les observations de Spallanzani, à des dégagements de gaz hydrogène : tout pareil dégagement qui se formerait dans un lieu humide et qui traverserait une couche d'argile, produirait une salse ; on connaît d'ailleurs l'affinité géologique qui existe entre cette terre et le sel commun. M. Ménard de la Groye, qui a fait une étude particulière de ce phénomène, qui a remarqué qu'il se présentait principalement dans les lieux où le pétrole abonde, et qui a observé de plus que le gaz est de l'hydrogène carboné, pense qu'il est fourni par ce bitume minéral (2).

(1) Spallanzani, *Voyages*, tom. 5.

(2) *Journal de physique*, tom. 86.

C'est encore à une même cause que sont dues les flammes que l'on voit sortir quelquefois de la surface de la terre, des eaux et même des roches, soit naturellement, soit à l'approche des corps enflammés. Ces terrains ardents et fontaines ardentes sont encore communs dans le Modénais, et ont été décrits par Spallanzani : on en voit aussi en Dauphiné, en Perse, etc. (1). Dans l'Amérique méridionale, près de Cumana, M. de Humboldt a vu sortir de deux cavernes, dans des montagnes calcaires, des flammes qui semblaient s'élever, dans quelques moments, à cent pieds. Le plus célèbre, ou du moins le plus anciennement signalé, de ces terrains ardents est le mont Chimère sur les côtes de l'Asie mineure. Du temps de Pline, et au rapport de ce naturaliste, il en sortait une flamme qui brûlait jour et nuit ; et c'est peut-être ce qui a fait dire à Virgile

*Flammisque armata Chimæra.* *ÆNEID.*, lib. VI.

Le capitaine Beaufort, qui l'a visité en 1811, n'y a trouvé qu'un morticule composé de blocs de calcaire et de serpentine, sur lequel, à un des coins d'un bâtiment ruiné, était comme une bouche de four, d'où sortait une flamme, sans fumée. Les pâtres des environs y vont quelquefois faire cuire leurs alimens ; mais de mémoire d'homme, il n'y a eu ni explosion ni éjection, et à l'entour on n'aperçoit pas la moindre trace de produit volcanique : l'herbe et les broussailles y croissent jusqu'à quelques mètres de distance de la bouche (2).

Au reste, tous ces phénomènes, ainsi que nous l'avons remarqué, n'ont aucun rapport avec ceux des volcans proprement dits.

§. 77. Il n'en sera pas de même des jets d'eau qu'on voit dans quelques pays volcanisés, et qui sont très-vraisemblablement un effet des feux volcaniques. Les fontaines des Geysers, en Islande, nous en présentent l'exemple le

Eaux jaillissantes.  
Geysers.

(1) Voy. un mémoire de M. Ménard sur ces terrains, *V. de phys.*, t. 85.

(2) *Annales de chimie et de physique*, tom. 22.

plus remarquable. Nous allons le faire connaître. A six lieues au nord de Skalhott, et à douze lieues de la côte, dans un pays plat, et au pied de collines peu élevées, on voit une multitude de petits monticules de terres diversement colorées, d'où il sort de fortes sources d'eaux chaudes chargées de beaucoup de silice. La plus considérable, qui porte le nom de *Geyser*, se trouve sur un monticule de deux à trois mètres de haut, et qui présente, à sa partie supérieure, un bassin presque circulaire, semblable à une soucoupe, ayant environ quinze mètres de diamètre et un mètre de profondeur. Dans le milieu il y a une ouverture, qui est l'extrémité supérieure d'un énorme tube cylindrique de trois mètres de diamètre, et reconnu jusqu'à une profondeur de près de vingt mètres. Le bassin, tout comme le monticule, est de matière siliceuse; ses parois intérieures, ainsi que celles du tube, sont revêtues d'une incrustation assez lisse de cette même matière. Il est habituellement plein de l'eau la plus limpide, et d'une température presque égale à celle de l'eau bouillante. Elle se balance dans le bassin; tantôt elle s'enfonce dans le tube, tantôt elle s'élève et se verse par-dessus les bords: souvent l'ascension se fait avec une telle rapidité qu'il en résulte des jets qui atteignent une hauteur d'environ trente mètres, et même de cent, d'après d'anciens té-

moignages, dont l'exactitude, il est vrai, semble pouvoir être contestée.

A 120 mètres de cette source, il s'en est ouvert, depuis quelque temps, une autre, qu'on nomme le *nouveau Geyser*, et qui ne lui cède en rien par la beauté et la durée de ses jets. Un témoin oculaire en décrit un de la manière suivante : « Pendant une heure et de-  
« mie la colonne fut lancée sans interrup-  
« tion à 150 pieds de hauteur, sur 17 dans  
« son plus grand diamètre: elle jaillissait avec  
« une telle force qu'elle conservait jusque  
« près du sommet les mêmes dimensions et  
« la même forme qu'à la base. Les pierres  
« que l'on jetait dans le goufre remontaient  
« à l'instant avec la colonne d'eau, et même  
« plus haut, avec une vitesse surprenante (1). »

Un volcan de Madagascar lance, dit-on, une colonne d'eau assez forte et assez élevée pour être vue de vingt lieues en mer (2).

§. 78. Les moments de crise, durant lesquels les volcans présentent les phénomènes que nous venons d'indiquer, ne sont que passagers et de peu de durée; ils sont suivis d'années et même de siècles de repos. M. de Humboldt remarque à ce sujet que la fréquence des éruptions semble être en raison

Volcans  
dans l'état  
de calme.

(1) *Bibliothèque britannique*, tom. 57, et Makensie, *Travels in Iceland*, pag. 212 et suiv. Ce dernier ouvrage présente des plans et coupes des Geysers, ainsi qu'un essai sur leur théorie.

(2) Ebel, *Ueber den Bau der Erde*, etc., tom. 2, p. 289.

inverse de la grandeur des volcans. Le plus petit d'entre eux, le Stromboli, lance continuellement ses girandoles de matières embrasées; les éruptions du Vésuve sont fréquentes; on en compte dix-huit depuis 1701: celles de l'Etna sont bien plus rares; celles du Pic de Ténériffe le sont encore davantage, et les cîmes colossales du Cotopaxi et du Tungouragoua en offrent à peine une dans l'espace d'un siècle (1).

Aux tourmentes succède quelquefois un calme parfait. Le cratère s'obstrue, il se couvre de forêts: ces ardentes fournaïses, d'où il sortait des torrents de feu, deviennent même les froids réservoirs de quelques lacs souterrains dont les eaux paisibles se peuplent de poissons; les flancs de la montagne, naguère sillonnés par des courants de pierres fondues, se couvrent de neiges et de glaces.

Mais le plus souvent le calme n'est pas absolu; le cratère reste ouvert, et il s'en exhale une quantité plus ou moins considérable de vapeurs qui attaquent les masses qui sont sur leur passage: tantôt elles y produisent différentes substances salines, dont nous parlerons dans la seconde partie; tantôt elles les recouvrent d'une incrustation sulfureuse; quelquefois, en traversant des fentes, elles déposent des matières métalliques sur leurs parois.

---

(1) Humboldt; *Relation historique du voyage, etc.*, tom. 1.<sup>er</sup>



Des terrains volcaniques, mais où depuis les temps historiques il ne s'est point opéré d'éruption, et où les traces des cônes volcaniques sont presque effacées, décèlent encore, par leurs exhalaisons et leurs vapeurs, le feu qui les a autrefois ravagés et qui n'est pas encore entièrement éteint. Tels sont les *champs phlégréens* (terrains brûlés), sur la côte de Pouzzole dans le royaume de Naples; on y voit un reste d'ancien volcan, ayant l'aspect d'une plaine, d'où il sort une multitude de fumeroles qui couvrent d'un enduit sulfureux tous les corps qu'elles atteignent: ce lieu très-remarquable porte le nom de *Solfatare*; nous y reviendrons dans la suite.

§. 79. Après avoir fait connaître les divers phénomènes des volcans, jetons un coup d'œil sur quelques circonstances météorologiques qui ont avec eux les plus grands rapports.

Phénomènes  
météorolo-  
giques liés  
aux érup-  
tions.

L'atmosphère participe peu à l'agitation des volcans et du sol environnant; elle reste habituellement calme. M. de Buch, observant à Naples toutes les circonstances d'une éruption du Vesuve, était étonné de voir le baromètre rester fixe au milieu du mouvement de tous les autres instruments météorologiques.

On pense bien que l'électromètre surtout devait être dans une grande agitation; il indiquait une surabondance d'électricité négative dans l'air. L'immense quantité de vapeurs qui se forment et qui se condensent alterna-

tivement pendant les crises volcaniques, ne peut manquer de donner lieu à une grande absorption ou à un grand dégagement d'électricité. Les éclairs, ou jets de foudre, qui sillonnent quelquefois, avec une fréquence et un fracas extraordinaires, les colonnes ou les nuages de vapeurs et de cendres qui sortent du cratère, en sont une suite.

Il serait superflu de faire mention des indications du thermomètre : on sent bien qu'un air au milieu duquel se répandent des nuages de sables embrasés, doit être souvent fort chaud. On sent bien encore qu'au voisinage des bouches volcaniques le terrain doit acquérir une chaleur très-considérable ; elle y occasionnera, ainsi que nous l'avons dit, la fonte des neiges et des glaces qui peuvent les recouvrir ; elle y sera peut-être encore la cause du tarissement des sources et puits, dont il est fait mention dans presque toutes les relations d'éruptions volcaniques, et que M. de la Torre dit avoir vérifié à Torre-del-Greco, douze jours avant la terrible éruption de 1804 ; et il le donna dès-lors, ajoute-t-il, comme un pronostic de la catastrophe qui allait avoir lieu (1).

L'immense quantité de vapeurs qui sortent des cratères à l'époque des éruptions, se trouvant dans un milieu plus froid dès qu'el-

---

(1) *Journ. de physique*, tom. 61.

les sont dans l'atmosphère, y forment bientôt d'énormes nuages qui se résolvent en eau et versent des déluges sur les contrées voisines (1).

La mer paraît aussi prendre part aux agitations des volcans voisins; et on la voit quelquefois hausser et baisser alternativement. C'est peut-être à une pareille oscillation qu'il faut attribuer l'abaissement qu'elle éprouve, dit-on, dans le voisinage du volcan, aux époques des éruptions, et qui est regardé, par quelques naturalistes, comme dû à une très-grande quantité d'eau qui aurait pénétré dans les cavernes volcaniques.

§. 80. Après avoir traité des volcans, disons quelques mots d'une autre espèce de feux souterrains, que des naturalistes ont regardés comme de même nature, et que Werner nommoit *pseudo-volcans*: ce sont des couches de houille ou de lignite en ignition; et il s'en trouve de telles dans presque tous les grands terrains houillers.

Pseudo-volcans, ou couches de houilles en combustion.

Ces combustibles minéraux contiennent presque toujours une plus ou moins grande quantité de pyrites, ou sulfures métalliques, soit en grains, veinules ou feuilletés, soit en particules imperceptibles, et quelquefois à tel point que la masse houilleuse en est comme imprégnée. Lorsque, par suite des travaux du mineur, cette masse vient en com-

(1) Voyez le mémoire de Ducarla sur les pluies et les inondations volcaniques. Journ. de physique, tom. 20.

munication et contact avec l'air atmosphérique, la matière pyriteuse effleurit et se décompose; le soufre s'acidifie, et il se forme un sulfate avec excès d'acide: cet excès agissant sur les substances voisines, notamment sur celles d'origine végétale, il en résulte comme un mouvement de fermentation; la masse s'échauffe, surtout lorsqu'elle est chargée d'humidité, et finit quelquefois par prendre feu spontanément.

Cette propriété pyrophorique des combustibles fossiles est un fait généralement connu. J'en ai vu un exemple très-remarquable à Billin, en Bohême: on y exploite, en partie pour l'amendement des terres, de puissantes couches de lignite; cette substance est portée et mise en petits tas à la superficie du terrain; au bout de quelque temps, elle fume, puis elle prend feu, et se réduit en cendres, que l'on répand sur les champs. Les accidents qui n'arrivent que trop souvent dans les mines, tels que l'inflammation des gaz hydrogènes, le feu mis à des boisages, sont encore au nombre des causes qui produisent l'embrasement des couches de houille.

Lorsque l'incendie a éclaté, on peut bien, à l'aide de muraillemens ou de bouchages, en arrêter les progrès, et même le contenir; mais il est presque impossible de l'éteindre: presque toujours, lorsqu'on croit en être venu à bout, et que l'on rouvre les commu-

nications avec l'atmosphère, le feu reparait et se reproduit avec toute son activité. La longueur du temps qu'il peut se conserver, en couvant ainsi sous terre et au même endroit, est vraiment extraordinaire. Près de Planitz, en Saxe, il y a une mine de houille qui était en feu de temps immémorial, à l'époque où Agricola écrivait, c'est-à-dire, il y a trois siècles : dans ce même lieu, en 1801, je voyais des vapeurs s'exhaler du sol, autour d'un puits bien bouché; et sous des pierres que je déplaçais, la terre était assez chaude pour que je ne pusse y tenir longtemps la main.

Les feux souterrains dont nous parlons, lorsque le libre accès de l'air les entretient en pleine activité, attaquent les couches terreuses et pierreuses qui sont au-dessus : ils les brûlent, les calcinent, les torréfient, et vont jusqu'à en fondre les parties les plus exposées à leur action. Si ces parties sont chargées d'oxide ou de carbonate de fer, et de nature assez fusible (telles sont un grand nombre des argiles schisteuses qui forment le toit des couches de houille), elles couleront, et se boursouffleront de manière à produire des scories (*Erdschlacke*). Dans d'autres circonstances, des substances minérales, même très-réfractaires, se vitrifieront : j'ai trouvé des grès à surface vitrifiée dans un *pseudo-volcan* de la Hesse. Mais le plus sou-

vent ces substances, et notamment les argiles, n'éprouveront qu'une demi-vitrification; par suite, elles deviendront dures au point de faire feu au briquet; elles prendront un aspect émaillé, des couleurs agréables et variées: ce seront les jaspes-porcelaines ou porcelanites des minéralogistes. Plus ordinairement encore; la majeure partie des masses terreuses placées au-dessus des houilles ne sera qu'écrite et rougie, et présentera un aspect pareil à celui de la brique. Tous ces divers effets varieront suivant l'épaisseur des couches en combustion, la rapidité du feu, la nature et la position des substances exposées à son action.

Lorsque ces couches seront consumées et réduites en cendres, celles qui sont au-dessus s'affaisseront et se briseront en culbutant. Me trouvant, près de Toeplitz, en Bohême, au milieu de monticules dont les coupes présentaient des couches rouges et brûlées, ainsi culbutées et brisées, au milieu de champs couverts de leurs fragments, je me croyais dans un pays renfermant autrefois d'immenses tuileries, et parmi leurs débris.

Pendant que les houilles sont encore en feu; il sort, par les crevasses qu'elles ont occasionnées dans le terrain qui est au-dessus, des fumées ou plutôt des vapeurs aqueuses, plus ou moins sulfureuses, et quelquefois ammoniacales, telles, en un mot, que celles

qui peuvent s'exhaler des houilles ou lignites en combustion. Elles donnent lieu à quelques formations salines qui sont assez souvent l'objet d'une exploitation.

Je cite un exemple, pris de l'arrondissement de minés confié à ma surveillance, des environs d'Aubin dans le Rouergue. Cette contrée renferme un grand nombre de couches ou d'amas de houille qui paraissent à la surface du terrain : les habitants y font des fouilles en forme de galerie ; mais, au bout de quelques dizaines de mètres, ils les abandonnent, laissant souvent leur sol couvert de tas de menue houille. L'air et l'humidité agissant sur cette matière, elle s'échauffe, s'enflamme quelquefois ; et le feu prend à la couche. A mesure qu'il fait des progrès, le terrain qui est au-dessus se crevasse, se brûle, et il en sort des fumerôles sulfureuses. Une partie du soufre qu'elles contiennent, ou qui se forme par leur décomposition, se dépose sur le bord des fentes, ou sur les corps qu'elles rencontrent ; mais la plus grande partie se convertit en acide sulfureux, lequel, agissant sur les argiles soumises à son action, y produit du sulfite d'alumine. Ce sel, exposé quelques mois à l'air, s'y convertit en sulfate ; et, ce qui est plus remarquable encore, par une plus longue exposition, il devient un vrai alun. La potasse nécessaire à cette transformation lui est très-vraisemblablement fournie par la décomposition des parties feldspathiques qui sont abondamment répandues dans les grès et argiles des houillères. Les eaux pluviales, qui filtrent dans le terrain brûlé, se chargent de cet alun, et le déposent, assez souvent, en masses informes, dans les parties inférieures ; d'autres fois elles le laissent en cristaux transparens et parfaits sur les parois des canaux qui les emmènent. Les eaux, ainsi que les parties du terrain imprégnées d'alun, et qui forment un vrai minéral de cette substance, sont traitées dans des fabriques voisines.

En résumé, les effets des feux souterrains dont nous venons de parler, se bornent à

l'émission de quelques vapeurs; à la torréfaction et très-rarement à la fusion des masses minérales placées dans la sphère d'activité de l'incendie, sphère qui n'a que quelques centaines de mètres de rayon. Tous ces effets sont absolument superficiels, et d'une nature entièrement connue; ils sont aussi simples que peu importants dans la somme des changements survenus à la surface du globe, et ils n'ont aucun rapport, même proportion gardée, avec ceux des volcans.

*b) Des tremblements de terre.*

Différentes  
espèces de  
tremble-  
ments de  
terre.

§. 81. C'est au milieu des volcans ou dans leur voisinage; c'est dans les pays volcanisés, que les tremblements de terre sont le plus nombreux ou le plus violents: le Pérou, le Midi de l'Italie, l'Islande, les Canaries, les Antilles, etc., et les côtes qui en sont peu éloignées, nous en fournissent de continuels exemples. Nous avons vu que les éruptions volcaniques sont habituellement accompagnées de tremblements de terre. De nouveaux volcans se sont ouverts, de nouvelles montagnes volcaniques ont été produites au milieu des secousses des contrées voisines; de sorte qu'il y a un grand rapport et une étroite connexion entre les volcans et les tremblements de terre; ce sont très-vraisemblablement les effets d'une même cause, des agents ou feux souterrains.



Nous pouvons distinguer, avec Werner, deux sortes de tremblements de terre. Les uns paraissent tenir à un volcan particulier, et avoir leur foyer dans la même région que lui : ils ne se font guère ressentir qu'à quelques lieues ou dizaines de lieues de distance, et presque toujours leurs paroxismes sont liés avec ceux de ce volcan. Les autres, qui paraissent avoir leur foyer à une bien plus grande profondeur, et dont les effets sont beaucoup plus grands, se propagent à des distances immenses avec une célérité incroyable ; ils se font ressentir presque en même temps sur des points éloignés de mille lieues.

Cependant quelques-uns de ceux-ci se rapprochent des premiers, et ils tiennent encore aux phénomènes volcaniques. C'est ainsi que, lors du tremblement qui renversa Lima en 1746, et qui fut un des plus terribles que l'on ait vus, il s'ouvrit quatre volcans dans une nuit ; et l'agitation de la terre cessa (1). On dirait que les fluides élastiques, qui, retenus et comprimés dans l'intérieur de la terre, y produisaient ces fortes secousses, s'étant ouvert une issue, se sont dégagés, et que la nature se trouva délivrée du mal qui la tourmentait. Buffon avait déjà fait cette remarque. « Dans les pays sujets aux tremblements de terre, dit-il, lorsqu'il se fait un

---

(1) Ulloa, *Voyage en Amérique*.

nouveau volcan, les tremblements cessent, ou ne se font sentir que dans les éruptions violentes, comme on l'a observé dans l'île de Saint-Christophe (1). Les volcans de *Monte-Nuovo* près de Naples, et de *Jorullo* dans le Mexique, vont nous fournir des exemples du même fait.

Volcans  
produits du-  
rant les  
tremble-  
ments de  
terre.

§. 82. Dans les terrains volcanisés et encore fumants du royaume de Naples, tout près de la Solfatare de Pouzzole, en 1538, après deux ans de tremblements de terre presque continuels, le terrain se crevassa, et il en sortit du feu et des vapeurs; il s'y fit en outre une ouverture d'où s'éleva, pendant sept jours, une si grande quantité de fragments de lave, de scories et de cendres, que ces matières, retombant tout autour, comblèrent presque entièrement le lac Lucrin, et produisirent, par leur entassement, le *Monte-Nuovo* ou *Monte di Cinere*, qui a environ 140 mètres de hauteur au-dessus de sa base, et 2600 mètres de circuit dans le bas: sa sommité présente encore les restes du cratère d'où ces matières sont sorties (2).

D'une manière peut-être encore plus extraordinaire s'est élevé, en 1759, le volcan de *Jorullo*, à cinquante lieues à l'est de Mexico et à trente-six lieues de la mer. Au milieu

(1) *Histoire naturelle*, tom. 1.<sup>re</sup>

(2) Hamilton, *Campi Phlegrai*. Breislak, *Institutions géologiques*, §. 590.

d'une plaine convertie de riches plantations de cannes à sucre, et sur un terrain volcanique, des mugissements épouvantables, accompagnés de tremblements de terre, se succédèrent pendant plusieurs jours. La tranquillité paraissait rétablie, lorsqu'avec un horrible fracas le sol se souleva, s'ouvrit, vomit des flammes, des pierres embrasées et des nuages de cendres. Tout le pays en fut couvert et ruiné à plus d'une lieue à la ronde; des milliers de petits cônes de deux à trois mètres de hauteur sortirent de terre; six grandes buttes, placées dans la direction d'une crevasse, se formèrent de la même manière que le *Monte-Nuovo* : la plus élevée est le *Jorullo*, dont la hauteur, sur les plaines voisines, est d'environ cinq cents mètres, d'après les mesures de M. de Humboldt. Pendant les années suivantes, le volcan a continué ses déjections; elles ont diminué peu à peu, et aujourd'hui il n'émet plus que de la fumée. Les petits cônes, appelés *hornitos*, exhalent, comme autant de *fumeroles*, des vapeurs épaisses qui s'élèvent à dix ou quinze mètres de hauteur. Les eaux qui sourdent de cette terre de désolation, sont très-chaudes et souvent chargées d'hydrogène sulfuré (1).

Lorsque de pareilles formations ont lieu

---

(1) *Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne*, liv. III, ch. VIII.

dans le sein de la mer, ou lorsque les volcans sous-marins, par l'entassement des produits de leurs déjections et éruptions, élèvent leur cime au-dessus des eaux, il en résulte des écueils et même de nouvelles îles: ces faits ont principalement lieu au milieu des archipels volcaniques (1).

Phénomènes  
des trem-  
blements  
de terre.

§. 83. Passons à l'examen des divers phénomènes que présentent les tremblements de terre en général.

Ils sont ordinairement précédés par des bruits sourds, des mugissements souterrains, quelquefois très-forts et sans direction déterminée. De pareils bruits annoncèrent, en 1746, aux habitants de Lima la catastrophe qui allait détruire leur ville, et ils les portèrent à abandonner à temps leurs habitations. Un bruit semblable à celui de plusieurs chars qui roulent sur un pont de pierre, dit Spallanzani, fut le prélude du tremblement qui renversa Messine. Cependant celui de Lisbonne, en 1755, arriva tout-à-coup; rien ne l'avait fait pressentir.

On donne encore comme pronostics de ces grandes crises de la nature, la sortie des reptiles qui vivent habituellement sous terre; l'agitation et les mouvements extraordinaires des oiseaux; les hurlements de certains ani-

---

(1) Voyez quelques détails sur ce sujet, aussi curieux qu'instructif, dans la note VIII.

maux ; le tarissement des sources et des puits , etc.

Les secousses se succèdent avec plus ou moins de rapidité et plus ou moins de force. Il y en eut trois à Lisbonne, et ce fut la dernière qui fut la plus forte et qui causa le plus de ravages : elle se prolongea pendant quelques minutes ; ses mouvements paraissaient agir en sens opposés. Pareille remarque a été faite à Cumana, lors du tremblement de 1812 : une première secousse dura six secondes, une seconde fut double en durée ; puis un bruit souterrain très-fort se fit entendre ; il fut suivi d'un mouvement perpendiculaire de trois à quatre secondes, et fut terminé par un mouvement d'ondulation plus long. Rien ne put résister, dit l'historien, à ces oscillations croisées, et la ville fut renversée de fond en comble (1). Souvent elles se reproduisent pendant plusieurs jours et même pendant des mois entiers. Lors du tremblement de terre de la Calabre\*, ce fut la première secousse, celle du 5 Février, qui fit le plus de mal dans le bas pays ; celle du lendemain fut plus préjudiciable dans les montagnes, et celle du 28 Mars fut la plus forte de toutes.

Nos édifices résistent rarement à ces secousses ; cependant il faut remarquer que ceux

---

(1) Humboldt, *Relation historique du voyage*, liv. V, ch. I.<sup>re</sup>

qui sont construits avec beaucoup de solidité, supportent souvent les commotions des plus grands tremblements de terre : à Lisbonne, la plupart des églises furent conservées ; il en fut de même à Messine ; et dernièrement, à Cumana, la cathédrale est restée debout.

Je ne vois pas que les historiens rapportent des faits bien positifs concernant les effets que ces phénomènes produisent sur les masses et les couches minérales : ils n'y occasionnent guère que des fentes, quelquefois, il est vrai, considérables ; c'est ainsi qu'Ulloa rapporte que dans le Pérou, lors du tremblement de 1746, il s'en fit une qui avait une lieue de long et quatre ou cinq pieds de large. Après le tremblement de terre de la Calabre, on remarqua que le terrain voisin de la mer s'était fendu parallèlement au rivage, et qu'il en était de même dans les collines qui dominent Messine (1). Lors du tremblement de Lisbonne, deux montagnes, situées près de Mequinez en Afrique, se crevassèrent et il en sortit des torrents d'une eau rongeatre. De pareils faits ont souvent lieu en Amérique. Nous y reviendrons dans la suite de ce chapitre.

La mer est presque toujours fortement agitée par les secousses des tremblements de terre. Elle le fut extraordinairement sur les

---

(1) Spallanzani, *Voyage dans les deux Siciles*.

côtes d'Espagne et de Portugal, lors du malheur de Lisbonne. Elle monta plus haut dans le port de cette ville, qu'elle ne l'avait fait dans les plus fortes tempêtes : à Cadix, les flots s'élevèrent, dit-on, jusqu'à vingt mètres; ils passèrent sur la digue qui unit cette ville au continent, et ils y noyèrent un grand nombre d'habitants qui s'y étaient réfugiés. Ces mouvements de la mer se firent sentir jusque sur les côtes d'Angleterre et de Norwége. Lors du tremblement de terre du Pérou, en 1746, au port de Callao, la mer, après s'être retirée avec véhémence, revint avec furie; elle se précipita sur la ville et noya ses habitants : de vingt-trois vaisseaux qui étaient dans le port, dix-neuf furent submergés, et les autres jetés dans l'intérieur des terres. Ulloa, qui rapporte ces faits, dit encore qu'étant en pleine mer, lors du tremblement de Lisbonne, il en ressentit les secousses; elles furent pareilles à celles qu'on aurait éprouvées si le vaisseau eût touché terre (1).

Mais, ce qui est bien remarquable, c'est que l'atmosphère ne participe nullement à l'agitation de la croûte du globe et des eaux qui la recouvrent. Le temps fut très-beau et très-serein durant les tremblements de terre de Lisbonne, de Messine et de Cumana; dans la première de ces villes, seulement, il régna

---

(1) *Voyage en Amérique.*

un vent violent ; mais à Cadix l'air était calme.

Nous venons de parler des grands tremblements de terre : heureusement ils sont rares. Cependant des secousses moins fortes sont très-fréquentes dans toutes les parties du globe, et il se passe peu d'années qu'il n'y en ait plusieurs en Europe ; mais elles se bornent à de légères trépidations du sol : à peine ai-je ressenti celles qu'on a éprouvées en Piémont en 1808, et à Toulouse en 1815, quoique je fusse sur les lieux.

Observations  
sur la dis-  
tance à la-  
quelle se  
propagent  
les trem-  
blements  
de terre.

§. 84. Un des phénomènes les plus remarquables que présentent les grands tremblements de terre, est l'énorme distance à laquelle ils se propagent. Celui de Lisbonne a ébranlé, dans la même heure de temps, tout le Portugal et toute l'Andalousie ; il s'est fait ressentir le même jour, d'une part, en Afrique, où les villes de Maroc, de Fez et de Mequinez ont été presque détruites ; et, de l'autre, dans la majeure partie de l'Espagne, de la France, de la Suisse et de l'Allemagne (1). On a éprouvé son action jusqu'en Islande, et même jusqu'aux Antilles. Celui de Lima s'est également propagé jusqu'en Europe. Un violent tremblement qui a eu lieu, il y a quelques années, à Constantinople, où il renversa plusieurs maisons, a été ressenti à Pétersbourg.

---

(1) Voyez les *Mémoires sur les tremblements de terre*, par Bertrand ; et la *Collection académique*, tom. 6.



Le 8 Septembre 1601 il y eut , entre une et deux heures après minuit, un tremblement de terre considérable dans presque toute l'Europe et l'Asie (1).

Si ces faits semblent indiquer de grandes communications souterraines entre les diverses parties de la croûte du globe , d'un autre côté, de très-fortes secousses, qui ne se font sentir qu'à de très-petites distances; paraissent déposer en faveur de l'opinion contraire. Le tremblement de terre de la Calabre, qui fut très-fort, ne se propagea pas au-delà d'un espace de vingt-cinq lieues de long sur quinze de large. L'Etna, situé dans cette région, n'éprouva aucune agitation; ce qui prouve qu'il n'y avait point de communication entre le foyer du tremblement et celui du volcan. Nous savons également qu'il n'y en a point entre ce dernier et celui du Vésuve; et M. Breislak croit même pouvoir conclure de ses observations, qu'il n'en existe aucune entre le Vésuve et le Solfatare de Pouzzole, quoique la distance ne soit pas de six lieues (vingt-cinq mille mètres).

Il paraîtrait, d'après ces faits, que les communications entre deux ou plusieurs foyers souterrains sont des circonstances absolument dépendantes de la localité, et qu'il serait possible qu'à de grandes profondeurs

---

(1) *Collection académique.*

elles fussent plus multipliées. On a cru remarquer encore qu'elles étaient plutôt dirigées dans le sens des méridiens que dans celui des parallèles.

*c) Observations sur les causes des phénomènes volcaniques.*

Les laboratoires dans lesquels la nature prépare les phénomènes volcaniques sont inaccessibles pour nous, et l'observation ne pourra jamais nous faire connaître leurs vraies causes; mais, en étudiant les effets qui se manifestent à l'extérieur, nous pouvons être conduits à des notions sur les agents qui produisent ces phénomènes, et même à quelques inductions sur leurs causes immédiates.

Le calorique  
est le principal agent.

§. 85. La plupart de ces phénomènes concourent à nous montrer que le feu est ici le principal agent. Les volcans lancent des matières embrasées; ils vomissent des torrents de pierres fondues, qui allument les corps inflammables, qui fondent les métaux, qui font bouillonner, pendant des jours entiers, les eaux dans lesquelles ils se plongent: ce sont des effets du feu, qui ne permettent pas de méconnaître la présence et l'action de cet élément; seul, il suffit pour rendre raison de tous les phénomènes que nous voyons à l'extérieur des volcans.

Mais quel est, dans l'intérieur, le combus-

tible qui sert d'aliment au feu volcanique ? la cause qui peut l'avoir allumé ? Quelle est la substance qui, fondue par lui, fournit la matière des laves ? Quelle est la force qui pousse au dehors cette matière fondue ? Où sont enfin ses foyers ? Ce sont autant de questions auxquelles il est impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, de répondre d'une manière positive. Nous allons nous borner à résumer ce que l'observation ou l'induction nous indique de plus probable à leur sujet.

§. 86. Les houilles et les sulfures métalliques, notamment le sulfure de fer, ou pyrite, sont les seuls combustibles que nous ayons observés jusqu'ici, en grandes masses, dans le sein de la terre. Leurs principes se retrouvent parmi les produits des volcans : c'est ainsi que la fumée qui sort du Vésuve est souvent imprégnée de bitume ; que le pétrole dégoutte de quelques laves, et qu'il abonde dans quelques terrains volcaniques (1) : c'est ainsi que le soufre se trouve en très-grande quantité dans la plupart des volcans et que le fer forme une partie constituante d'un ordre entier de laves. Ces faits paraîtraient autoriser l'opinion de ceux qui regardent les bitumes minéraux et les pyrites comme les combustibles qui alimentent les feux souterrains.

Combustible  
qui sert d'a-  
liment au feu  
volcanique.

---

(1) Breislak, *Institutions géologiques*, §. 602 et suiv.

Mais, d'un autre côté, on voit une grande quantité de volcans qui reposent sur les granites ou autres terrains primitifs : presque tous les volcans éteints de l'Auvergne et du Vivarais sont dans ce cas; ils ont ou ils ont eu leur foyer dans ou sous ces terrains, et ils ne peuvent ainsi l'avoir dans les houilles ou bitumes minéraux, puisque ces substances sont d'une formation secondaire, et qu'elles reposent par conséquent sur les formations primitives. Observons de plus que nous connaissons sur notre globe un grand nombre de couches de houilles et d'énormes couches en feu, et que leurs effets n'ont absolument aucun rapport avec ceux des volcans. (§. 80).

Les pyrites sont, il est vrai, abondamment répandues dans toute espèce de terrain; mais elles n'y sont qu'en grains, ou en rognons, ou en petites couches; et, en somme, leur volume est extrêmement petit par rapport à l'étendue des masses qui les renferment. Quelles immenses couches de pyrites n'aurait-il pas fallu pour fondre les masses de l'Etna, du Cotopaxi, du Pichincha, etc. ? Jamais on n'a vu rien de pareil. Remarquons encore que plusieurs produits volcaniques ne contiennent pas la moindre trace de soufre ni même de fer.

D'après ces considérations, nous devons penser que les houilles et les pyrites ne sont pas, généralement parlant, et comme on l'a

souvent dit, les combustibles qui alimentent les feux des volcans.

A défaut d'observation directe qui fournisse une donnée positive à la solution de la question, les découvertes dernièrement faites en chimie peuvent porter à une conjecture qui est pleinement en harmonie avec l'état actuel des sciences. Ces découvertes nous apprennent que la chaux, la silice, etc., principes constituans des minéraux qui forment la croûte solide du globe terrestre, sont des oxides de calcium, silicium, etc., métaux qui ont une affinité extrême pour l'oxygène; qui s'en emparent dès qu'il se trouve à leur portée, et qui sont ainsi éminemment combustibles. A la surface du globe, étant en contact avec l'air atmosphérique, ils auront été oxygénés ou brûlés : mais il n'en serait plus de même dans l'intérieur; ils y seraient encore à l'état métallique, et présenteraient un combustible très-actif aux feux volcaniques.

§. 87. Admettons maintenant, ce qui est presque certain (§. 89), que l'eau arrive en grande quantité, dans les foyers des volcans, sur ces métaux et sur quelques chlorures, et notamment le chlorure de sodium (sel commun) qui s'y trouvent aussi. Une partie du fluide sera brusquement décomposée; les métaux et les chlorures s'empareront de son oxygène et se convertiront en silice, alumine,

Cause des  
incendies  
volcaniques.

chaux, magnésie, soude, etc., matières dominantes dans les laves : l'hydrogène, devenu libre, se dégagera à l'état de gaz, où, se combinant avec le chlore, il formera de l'acide hydrochlorique ; et l'on sait que les vapeurs qu'exhalent les volcans sont très-souvent chargées de cet acide.

Cette conjecture sur la cause des phénomènes volcaniques vient d'être émise par un physicien et chimiste si distingué qu'elle ne peut qu'être prise en grande considération. M. Gay-Lussac<sup>(1)</sup> l'a exposée, dans un mémoire où il commence par montrer que cette cause ne saurait être l'état d'incandescence, ou de liquéfaction ignée, dans lequel serait encore l'intérieur du globe aux yeux de quelques savants ; état qui lui paraît d'ailleurs très-douteux. Il établit ensuite que la cause serait bien plutôt une affinité très-énergique et non encore satisfaite entre les substances qu'un contact fortuit aurait mises à même d'agir les unes sur les autres : d'où il serait résulté une chaleur suffisante pour fondre les laves, et pour donner aux fluides élastiques une force capable de les élever et de les verser à la surface de la terre. Enfin, il fait voir que l'air, pénétrant dans les cavernes volcaniques, ne saurait être la substance adventive qui produit cette action, et qu'il est très-vraisemblable que c'est l'eau.

---

(1) *Réflexions sur les volcans. Annales de chimie*, tom. 22.

Jusqu'ici, et depuis plus d'un siècle, on avait généralement attribué les feux volcaniques, ainsi que toutes les chaleurs souterraines, à la décomposition et à l'inflammation des pyrites, en se fondant principalement sur le prétendu volcan artificiel de Lémery. Ce chimiste prit vingt-cinq livres de limaille de fer et de soufre pulvérisé; il humecta le mélange, le mit dans un vase, le couvrit d'un linge, le plaça à un pied sous terre : au bout de huit ou dix heures, le terrain se crevassa, se gonfla, et il en sortit des vapeurs sulfureuses, et même quelques flammes (1). Cette expérience prouve bien que le soufre et le fer produisent de la chaleur et du feu, lorsqu'ils s'unissent pour former un sulfure : mais, lorsque le sulfure existe, il n'y a plus d'action, il n'y a plus de chaleur.

Les grandes masses de pyrites qui se trouvent dans l'intérieur de la terre, y sont en bancs intercalés dans des couches de pierres; elles ne sont en contact ni avec l'air ni avec l'eau, au moins sur une grande étendue. Jamais mineur n'a trouvé, dans ses ateliers souterrains, des pyrites en ignition, où prêtes à prendre feu; jamais il ne s'est rien présenté à lui qui pût même lui permettre de penser qu'un pareil effet pût avoir lieu. On en chercherait vainement un exemple dans les auteurs, même dans la grande *Pyritologie* de Henkel; et c'est cependant ce métallurgiste qui, le premier, a établi le système des fermentations souterraines (2), et qui l'a établi dans cet ouvrage. J'ai vu des mines de pyrites, et l'air n'y était pas plus chaud que dans les autres. Je sais cependant que ces sulfures, dans certaines circonstances, mêlés avec certaines substances, se décomposent et produisent de la chaleur; ils élèvent ainsi la température dans des galeries de mines; ils produisent l'échauffement et même, avec le contact de l'air, l'inflammation de quelques houilles et de quelques schistes bitumineux (§. 80) : mais, je le

(1) *Mémoires de l'Académie*, 1700.

(2) Voyez l'opinion de Werner sur ces fermentations : *Théorie des filons*, §. 89.

répète, les pyrites en bancs ne m'ont présenté rien de semblable, et jamais on n'en a vu en feu (1).

Matière des  
laves.

§. 88. Nous venons de voir comment on pouvait présumer que le silicium, le calcium, etc., qui gisent sous l'écorce du globe, auraient fourni la matière des laves; et cela par une opération du même genre (l'oxigénation) que celle qui avait produit la matière des minéraux composant cette écorce.

Ainsi il ne faut pas être étonné que les laves et les minéraux soient composés des mêmes éléments, ni même que la majeure partie des uns et des autres ait la même base minéralogique, le feldspath. Toutefois la différence dans le mode d'oxigénation et dans les circonstances de la formation aura donné lieu à celle qu'on remarque dans les deux sortes de produits : plusieurs substances volcaniques sont de nature particulière, minéralogiquement parlant; et la disposition des masses, dans les deux ordres de terrains, est entièrement dissemblable.

Cause des  
éruptions.

§. 89. La partie de l'eau qui, ayant pénétré dans les foyers volcaniques, ne s'est pas trouvée en contact immédiat avec les métaux oxigénables, et qui par conséquent n'aura pas été de suite décomposée, sera réduite en vapeur

---

(1) Dans quelques cas particuliers, les pyrites pourront être, par suite de ce que nous venons de dire, la cause directe ou indirecte de la chaleur des eaux thermales; mais elles ne sauraient être la cause générale et permanente de cette chaleur, comme on le dit habituellement.



par l'effet de la très-grande chaleur provenant de la décomposition; elle acquerra une force prodigieuse, et donnera lieu aux diverses circonstances des éruptions et des déjections.

Cette présence de l'eau dans les phénomènes volcaniques n'est point une hypothèse. Nous avons vu, §. 60, que tous les volcans en activité étaient situés dans des îles ou sur les côtes à peu de distance de la mer; et ceux que nous trouvons dans l'intérieur des terres, sont tous éteints. Cette observation porte bien naturellement à conclure que le voisinage de la mer est une condition essentielle à l'existence des volcans, et que l'eau marine, pénétrant dans leurs foyers, est une des causes des phénomènes volcaniques. On est confirmé dans cette opinion, lorsqu'on fait attention à la prodigieuse quantité de vapeurs aqueuses que les volcans exhalent; aux torrents d'eau salée que Bergmann et d'autres auteurs disent en être sortis; à la qualité très-souvent hydrochlorique des vapeurs volcaniques; à la soude qui entre dans la composition de la plupart des produits des volcans, et à l'hydrochlorate de soude qu'on a même trouvé dans quelques-uns d'eux. Quelques naturalistes, Ferber (1), M. Ménard, etc., ont en outre vu des coquilles marines sur les cônes volcaniques. Je ne parlerai pas des absorp-

---

(1) *Briefe aus Welschland*, pag. 155.

tions de la mer si souvent mentionnées ; ce fait n'est pas constaté d'une manière assez positive. Mais je remarquerai que la plupart des observateurs signalent les rapports qu'il y a entre les crises des volcans et les circonstances qui peuvent porter de l'eau dans leurs gouffres. Dolomieu dit expressément : « L'agi-  
« tation intérieure des volcans est augmentée  
« par les pluies et par toutes les circons-  
« tances qui font arriver les eaux dans leurs  
« foyers (1). » On a également remarqué que c'est d'ordinaire à la suite des saisons pluvieuses que les violents tremblements de terre ont lieu (2).

Mais comment l'eau pénètre-t-elle dans les cavités volcaniques ? Comment n'en est-elle pas expulsée par les mêmes canaux qui l'y ont amenée ? Les phénomènes des éruptions n'indiquent-ils pas que les cavernes volcaniques n'ont d'autre issue, ou d'issue plus facile, que le cratère même par lequel la lave sort ? Ce sont des questions dont la solution est très-difficile, mais elle n'est pas impossible. Nous ne la chercherons pas ici ; il nous suffit d'avoir montré que la présence de l'eau, et de l'eau en grande quantité, est incontestable au milieu des phénomènes volcaniques.

On connaît l'étonnante force de ce fluide

---

(1) Description des îles Ponces, p. 298.

(2) Bertrand, sur les tremblements de terre ; Dolomieu, sur le tremblement de la Calabre.

réduit en vapeur ; mais nos machines à feu et nos marmites de Papin peuvent à peine nous donner une idée de celle qu'il peut acquérir dans des cavernes dont les parois ont plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, et qui supportent les montagnes de l'Etna et du Chimborazo ; la chaleur volcanique peut tendre son ressort à un point dont il est même difficile de se faire une idée.

L'eau, à l'état de vapeur, n'est pas d'ailleurs le seul fluide élastique qui exerce une action dans les foyers volcaniques ; il peut s'y trouver, et nos observations nous portent encore à croire qu'il s'y développe divers gaz. Spallanzani a fait observer en outre, et avec beaucoup de justesse, que la matière même des laves réduite en vapeurs par l'action du calorique, devait joindre ses effets à ceux des autres fluides aériformes.

Il serait superflu d'entrer dans les détails de la manière dont ces fluides, agissant dans l'intérieur des cavernes souterraines, peuvent produire les diverses circonstances de l'ascension et de l'éruption des laves, ainsi que celle des tremblements de terre : un peu de réflexion les fera aisément concevoir (1).

---

(1) Un événement arrivé en Angleterre, en 1801, et rapporté par M. Ordinaire, dans son *Histoire naturelle des volcans*, peut donner une idée de l'effet produit par l'eau entrant dans un bassin rempli de matières embrasées. Un haut-fourneau à fer, contenant environ soixante mètres cubes de métal et de matières fondues ou

Position  
des foyers  
volcaniques.

§. 90. Où sont donc placés les laboratoires dans lesquels s'opèrent ces combinaisons et décompositions, d'où résultent une si grande chaleur et une si grande force, capables de si prodigieux phénomènes? A quelle profondeur se trouvent-ils? Encore ici nous serons presque réduits à errer dans un dédale de conjectures.

Deluc et Dolomiéu, frappés surtout de la très-grande distance à laquelle se propageaient presque instantanément les tremblements de terre, avaient admis un foyer universel : ils regardaient notre globe comme creux, et rempli d'une sorte de vase ou fluide très-épais, sur lequel nos continents reposaient : lorsque ce fluide, par suite de quelque fermentation, éprouvait un mouvement d'infumescence, il brisait et perçait la croûte solide, se répandait au-dehors, prenant feu dès qu'il se trouvait en contact avec l'atmosphère. Suivant d'autres physiciens, ce fluide intérieur serait la matière même du globe entier encore en fusion : l'augmentation rapide de la température, à mesure qu'on s'enfonce dans

---

en incandescence, fut entouré par une inondation : à l'instant où l'eau parvint dans le creuset, il s'éleva verticalement, à plus de cinquante mètres de haut, et à trois reprises, des colonnes de feu de l'éclat le plus vif, c'étaient les matières en fusion. L'explosion les dispersa tellement, qu'on n'en trouva pas de vestiges auprès de la fonderie : au moment où elle se fit, tout ce qui était dans le voisinage fut fortement ébranlé ; le fourneau fut ensuite trouvé vide, mais sans aucun dommage.

l'écorce déjà solidifiée, les porte à penser qu'au-dessous la chaleur doit être prodigieuse et tenir tout en liquéfaction. Mais ces hypothèses, en expliquant peut-être un fait, sont en opposition avec tous les autres : elles sont d'ailleurs hors des limites de toute vraisemblance : ce n'est pas par nos petits cratères, mais bien par d'énormes fentes qu'un globe entier de matière fluide en fermentation s'extravaserait ; ce n'est pas par l'émission de quelques petits courants de lave que l'équilibre serait rétabli, etc.

D'autres naturalistes encore ont cru qu'il existait dans l'intérieur du globe de grands espaces vides, qui établissaient des communications entre les agents souterrains, et leur donnaient la facilité de transmettre leurs effets à d'énormes distances. Mais plusieurs faits déposent contre ces communications. De terribles secousses de tremblements de terre ne se font souvent ressentir que dans un espace très-circonscriit : celles qui désolèrent la Calabre, en 1783, furent très-fortes et réitérées pendant près de deux mois, et cependant elles ne se propagèrent pas sur un espace de plus de vingt-cinq lieues de long sur quinze de large. L'Etna, situé dans cette région, n'éprouva aucune agitation : il n'y avait donc pas de communication entre le foyer du tremblement et celui du volcan. Nous savons également qu'il n'y en a point

entre ce dernier et celui du Vésuve : et M. Breislak croit pouvoir conclure qu'il n'en existe aucune entre le Vésuve et la Solfatare de Pouzzole, quoique la distance ne soit pas de six lieues (25 mille mètres). D'ailleurs ces grands vides, ou voies de communication, sont absolument inutiles pour expliquer l'étendue et la rapidité de la transmission dans les tremblements de terre. Au jugement de nos premiers physiciens, un tel tremblement n'est qu'une très-forte onde sonore, excitée dans la masse solide de la terre par une commotion quelconque, et qui s'y propage avec la même vitesse que le son s'y propagerait. Un ébranlement produit à l'extrémité d'un corps solide se transmet de suite à l'autre extrémité.

Tous les phénomènes d'un volcan, ou d'un système de volcans, indiquent que la cause qui les produit a un foyer local et particulier. Par conséquent, les cavernes volcaniques doivent se trouver dans la région même du système, sans en dépasser notablement les limites; mais elles y seront souvent à une grande profondeur; et il faut bien qu'il en soit ainsi, afin que leurs voûtes aient assez d'épaisseur pour résister à la pression d'une force élastique qui élève et qui supporte une colonne de lave de plusieurs milliers de mètres en hauteur.

La disposition des volcans par groupes ou systèmes, que

nous venons de rappeler, semblerait indiquer que le siège des agents volcaniques est quelquefois comme déterminé par la matière qui sert d'aliment aux feux souterrains, abstraction faite des autres circonstances nécessaires à l'existence de ces feux; que cette matière se trouve inégalement répartie dans ou sous la croûte minérale du globe; que là où elle est en quantité suffisante, il se produit un système de volcans; et que, si elle est disposée comme le serait un immense filon, les montagnes volcaniques se forment sur sa direction et présentent ces sortes de trainées dont nous avons parlé au §. 60. En voyant, aux environs de Clermont, une soixantaine de volcans éteints rangés sur une même ligne droite, et entremêlés de montagnes volcaniques d'une époque encore antérieure, je ne pouvais m'empêcher de dire, en 1804 : « Peut-être y avait-il sous terre et dans cette direction comme un filon d'une matière qui aurait recélé le germe de l'incendie volcanique, ou qui aurait été propre à lui servir d'aliment : la cause subsistant toujours, son effet pourrait s'être renouvelé à diverses époques. »

## SECTION II.

### *Des changements et dégradations opérés à la surface de la terre.*

Avant d'examiner les changements que peuvent avoir produits, à la surface du globe, les agents dont nous venons de parler, voyons ce que pouvait être cette surface immédiatement après sa formation.

§. 91. Nous avons déjà conclu, dans l'introduction, d'une suite de faits incontestables, que les diverses couches minérales qui en constituent la presque-totalité, étaient une suite de précipités et de sédiments suc-

Surface de la terre après sa formation.

cessivement déposés les uns sur les autres. Mais le même précipité, le même sédiment ne s'est pas continuellement déposé sur tout le fond du réservoir qui contenait le fluide, et en conservant partout la même épaisseur. Dans des endroits, il n'y aura point eu de précipitation, ou bien elle aura été moins considérable que dans d'autres : de là une première origine des inégalités que présente la surface du globe. Par exemple, si, dans un parage traversé par un courant, il s'est fait un dépôt, il est très-possible et même vraisemblable qu'il aura été nul ou presque nul dans le milieu ou dans le fort du courant, et qu'il se sera amoncelé sur ses bords, là où le fluide était en repos ; il se sera ainsi formé une espèce de vallée bordée de deux masses de terrain, alongées, parallèles, représentant les massifs de deux chaînes de montagnes ou de collines. De nouveaux précipités qui viendraient, par la suite, à se déposer dans le même endroit, s'ils se déposaient partout également, se mouleraient sur ce premier sol, et recouvriraient ainsi de couches successives les deux chaînes, qui par conséquent augmenteraient en volume, mais en conservant leur forme et leur parallélisme à la vallée qui les sépare.

Les mouvements et l'agitation des eaux, après avoir été une première cause d'inégalité sur la surface de la terre, en auront été



quelquefois encore une seconde; ils auront attaqué et dégradé les précipités qui venaient de se faire, ils en auront enlevé la matière dans un endroit, et l'auront entassée dans un autre. Buffon s'est certainement exagéré l'effet des courants, lorsqu'il a dit : « Les courants coulent dans la mer comme les fleuves sur la terre, et ils y produisent des effets semblables : ils forment leur lit, ils donnent aux éminences entre lesquelles ils coulent, une figure régulière et dont les angles sont correspondants; ce sont, en un mot, ces courants qui ont creusé nos vallées, figuré nos montagnes, et donné à la surface de notre terre, lorsqu'elle était sous l'eau de la mer, la forme qu'elle conserve encore aujourd'hui (1). » Mais il n'en est pas moins vrai que ces immenses fleuves marins doivent avoir produit sur le sol qu'ils atteignent des effets proportionnés à leur masse et à leur vitesse; il n'en est pas moins vrai que des courants qui déplacent des bancs de sable, qui sapent des roches et qui ouvrent des détroits (§. 50), peuvent transporter des matières qui viennent de se déposer sur le fond de la mer, peuvent sillonner un sol encore sans consistance, et y creuser une vallée sous-marine.

Ainsi, au sortir du sein des eaux, la surface de la terre était déjà couverte d'inégalités:

---

(1) Buffon, éd. in-4.<sup>e</sup>, tom. 1.<sup>er</sup>, pag. 456.

elles étaient tantôt comme d'immenses ondulations, formant de longues bandes d'un terrain élevé et offrant deux pentes légèrement inclinées vers des mers opposées; tantôt, semblables à d'énormes rides rapprochées et parallèles, elles comprenaient entre elles de grandes vallées primitives.

Dès que cette surface se trouva à découvert, elle fut attaquée par les agents dont nous avons parlé (chap. II et chap. IV, sect. I.<sup>re</sup>); leur action se joignit à celle de la pesanteur, pour y produire de nouveaux changements et de nouvelles inégalités. La pesanteur fit tomber et crouler ce qui n'était pas assez soutenu; l'action érosive des éléments atmosphériques corroda et sillonna le sol déjà existant; les volcans le couvrirent de nouvelles éminences et de nouvelles masses; les tremblements de terre l'ébranlèrent, le crevasèrent, et son aspect fut encore changé. Nous allons examiner les effets produits par chacun des agents que nous venons d'indiquer.

#### ART. 1.<sup>er</sup> *Effets de la pesanteur.*

Affaisse-  
ments, fen-  
tes, éboule-  
ments.

§. 92. La pesanteur, cette force universelle qui agit sans cesse sur toutes les parties de la matière, et qui tend à les amener vers le centre de la terre, exerce une action continue sur les diverses parties de l'édifice du globe; et dès que les bases qui les soutien-

ment viennent à céder ou à manquer, elle occasionne leur affaissement ou leur chute.

Ses effets ont dû se faire sentir dès les premiers moments de la formation de masses minérales, dans le sein même des eaux. Lorsque les précipités, en s'amoncelant, se furent élevés à une certaine hauteur, leur matière, encore molle ou sans cohérence, dut céder sous son poids et se tasser; mais, n'étant point partout également dense, et se trouvant en plus grande quantité dans un lieu que dans un autre, le tassement ne put être partout égal, il dut être plus considérable dans un endroit que dans un autre; par conséquent, des portions de terrains durent se détacher du reste du sol, et pencher ou s'incliner vers le côté qui avait le plus cédé: il se produisit ainsi des fentes; des couches se plièrent ou se brisèrent, et leurs portions s'inclinèrent diversement: de là une grande partie des affaissements, inflexions et renversements de couches que l'on trouve à chaque pas dans la nature. Tous ceux qui ont observé l'intérieur de la terre, ou seulement visité quelques houillères, savent que très-souvent, lorsqu'on y rencontre une fente, soit vide, soit remplie, et par conséquent transformée en *faille* ou *filon*, la partie des couches située d'un des deux côtés de la fente est plus basse que la partie des mêmes couches placée de l'autre côté. Cette différence de niveau est

quelquefois de plusieurs mètres, et elle provient évidemment de ce qu'à l'époque de la formation de la fente, une des deux portions du terrain, cédant à l'action de la pesanteur, s'est affaissée.

Depuis ces premiers temps, et postérieurement à la consolidation de masse minérale, la croûte du globe a été comme minée en plusieurs endroits. Les matières volcaniques, en se répandant au-dessus, ont laissé nécessairement de grands vides au-dessous : de là, les nombreux affaissements, dont nous parlerons bientôt (§. 107). Ailleurs, des eaux de filtration ont entraîné des matières solubles qui se trouvaient dans certains terrains, et y ont ainsi produit des cavernes et des grottes (§. 53) : lorsque la masse, qui était au-dessus, n'a plus été assez soutenue, elle s'est effondrée ; et il s'est fait, à la superficie du sol, de grandes dépressions ; souvent elles se sont remplies d'eau, et il en est résulté des lacs.

Indépendamment des affaissements provenant des cavernes connues, ou que tout indique exister dans la croûte minérale du globe, quelques auteurs systématiques en admettent de bien plus considérables, dus à d'immenses vides supposés être dans l'intérieur du globe, et auxquels ils attribuent la plupart des inégalités de la terre et la formation des vallées (§. 103). Mais de pareils affaissements, comme les vides ou cavernes qui les ont occasionés, nous sont inconnus ; ils n'ont point d'analogues parmi les faits que l'observation nous a fait connaître ; ils appartiennent, je pourrais dire, aux temps fabuleux de la géologie, à ceux qui ont précédé l'état des choses auquel l'observation et ses conséquences peuvent nous faire remonter.

En rapportant au-delà de cet état des choses les grands affaissements que je viens d'indiquer, je n'en veux pas conclure que ces affaissements n'aient pas eu lieu; et, quoique la forme et la disposition de la majeure partie des vallées ne permettent point de leur attribuer l'origine de ces vallées, cependant, lorsque je considère la disposition et l'aspect des montagnes qui entourent certains lacs ou mers méditerranées (§. 27), je suis quelquefois enclin à croire que plusieurs de ces lacs ou mers doivent leur origine à de tels affaissements. Si le récit de Platon sur l'*Atlantide* ne portait pas tout le caractère d'une simple fiction, on pourrait le citer comme présentant le plus considérable de ceux dont il n'a jamais été fait mention. « Sur les bords de la mer Atlantique, dit le philosophe grec, vis-à-vis le détroit des colonnes d'Hercule, il y avait une île plus étendue que la Libye et l'Asie (connue des anciens) ensemble; il arriva des tremblements de terre et des inondations, et, dans l'espace d'un jour et d'une nuit, elle disparut dans la mer. »

La pesanteur a occasionné et occasionne encore journellement de nombreux et continuels éboulements de rochers (§. 51); le fond de la plupart des vallées est couvert de blocs provenant d'une pareille cause, et qui sont d'un volume souvent très-considérable. Dans la vallée de Locana, au-dessus de Novasca, dans les Alpes piémontaises, on chemine long-temps au milieu de quartiers de granite qui ont plus de mille mètres cubes: une des montagnes qui dominent cette partie du chemin, présente une énorme face taillée à pic, toute fendillée, montrant encore, dans toute sa fraîcheur, la place d'où ces quartiers se sont récemment détachés. De pareils faits se retrouvent dans un très-grand nombre de

vallées; ils y ont été remarqués, par tous les géologues : tous y ont entendu fréquemment des chutes de rochers; tous y ont vu, chaque année, de nouvelles avalanches de pierres.

Au reste, ces affaissements et éboulements doivent être actuellement bien moins nombreux et bien moins considérables que dans les premiers temps de la formation du globe : les diverses parties de l'édifice ont en quelque sorte pris l'assiette qui leur convient.

ART. 2. *Effets dus aux éléments atmosphériques.*

L'action des agents atmosphériques, de l'air et de l'eau, sera encore aussi universelle que celle de la pesanteur; elle sera même plus continue, au moins quant à ses effets. Nous avons déjà fait connaître en détail la nature de cette action (§§. 44 — 54) : quelque faibles et petits que paraissent les effets que nous avons cités comme exemples, si l'on considère que les agents qui les produisent travaillent sans interruption sur tous les points de la surface du globe, et cela depuis un laps de temps indéfini, on conclura qu'en somme ils ne peuvent manquer de produire des effets bien considérables; et effectivement ils en ont produit de tels : ils ont abaissé le niveau des terrains élevés; ils ont morcelé les couches minérales, et ils ont excavé ou façonné

la plupart de nos vallées. Examinons chacun de ces divers effets.

*a) Abaissement des terrains élevés.*

§. 95. L'action décomposante de l'atmosphère agit sur toutes les roches dont la surface est à découvert; elle les pénètre, elle relâche et détruit l'agrégation de leurs molécules; les eaux entraînent les parties ainsi désagrégées, et, par suite d'une continuelle répétition de ces effets, les terrains doivent baisser de niveau, et baisser d'autant plus que la roche qui les constitue est plus sujette à la décomposition. Mais comme cet abaissement est toujours extrêmement petit, durant le laps de temps que peut embrasser la durée des observations du même homme; qu'il se fait le plus souvent d'une quantité égale ou du moins très-graduée sur tous les points d'une grande étendue de terrain, il sera imperceptible. Vainement la tradition nous apprendrait-elle que, dans un très-grand nombre de lieux, l'on aperçoit maintenant des cimes et des objets que l'on ne voyait pas autrefois, parce que des montagnes ou des coteaux interposés, qui en dérobaient la vue, ont perdu de leur hauteur: vainement Pallas nous dirait-il que la chaîne granitique de la Sibérie a beaucoup perdu de sa hauteur, à cause de la facilité avec la-

Circonstances de l'abaissement.

quelle sa roche se décompose (1); on pourrait encore contester ces abaissements, si la nature elle-même n'avait laissé, en plusieurs endroits, des termes de comparaison, et des *témoins* (2) de l'ancienne élévation du sol. Ces témoins sont les filons dont la partie supérieure s'élève au-dessus de la roche qui les entoure, les aiguilles et les pics qui s'élèvent au-dessus du sol qui les supporte, des montagnes isolées dans les plaines, les rochers et même les blocs de roche détachés qui couvrent le sol de quelques contrées.

Preuves.

*Filons  
en saillie.*

§. 94. Dans les îles Hébrides, et en divers lieux de l'Écosse et de l'Irlande, on voit sortir d'un sol tantôt granitique ou porphyrique, tantôt schisteux, tantôt calcaire, un grand nombre de filons de basalte qui s'élèvent souvent à plusieurs pieds de hauteur; ils sont absolument semblables à des murailles, et ils en font même l'office, car ils y servent habituellement de clôture aux champs, et c'est de là qu'ils ont tiré le nom de *dykes* qu'ils portent dans le pays. Personne, en les voyant, ne doutera que ces parties saillantes de filons, restes de coulées volcaniques, n'aient été originellement encaissées dans la roche, comme

(1) *Voyage dans les gouvernements méridionaux de la Russie*, tom. 1.<sup>er</sup>, pag. 611.

(2) Les ouvriers employés au déblai des terres donnent le nom de *témoins* à des massifs de ces terres qu'ils laissent subsister intacts, de distance en distance, pour constater la quantité du déblai.



le sont encore les parties inférieures. Le terrain qui entourait celles qui sont actuellement en saillie a donc été détruit, et le sol a baissé naguère de toute la hauteur du *dyke* : je dis naguère, car ces filons ou murs de basalte n'ont que quelques pieds d'épaisseur, et la plupart ne sont composés que de prismes couchés les uns sur les autres sans ciment intermédiaire : de pareilles constructions ne sauraient braver des milliers de siècles. Aux environs de Schneeberg en Saxe, au milieu d'un terrain granitique, j'ai vu un filon de quartz s'élever à quelques mètres au-dessus du sol, et se prolonger comme un mur à une distance considérable : encore ici il servait de clôture. La conclusion à tirer de ce fait et de tous ceux du même genre, est évidente. Lorsque, dans le pays de Deux-Ponts, M. Schreiber voyait des masses ou filons presque verticaux de quartz, ayant un ou plusieurs mètres d'épaisseur, s'élever jusqu'à dix mètres au-dessus de la surface du terrain, il ne pouvait s'empêcher de conclure que « ces masses  
 « étaient restées debout et inaltérées, tandis  
 « que le schiste qui les renfermait avait  
 « été détruit et entraîné peu à peu par les  
 « eaux (1). » Les couches présentent le même fait que les filons : près de Sorèze, sur la Montagne-Noire, j'ai remarqué une très-mince

---

(1) *Journal des mines*, n.º 11.

couche de schiste micacé plus quartzeuse que les autres, et qui s'élevait, comme une crête, à deux ou trois mètres par-dessus le dos de la montagne.

Pyramides  
et pics.

§. 95. Toutes ces pyramides aiguës qui, se détachant du corps des montagnes, s'élancent dans les airs; toutes ces aiguilles décharnées qui hérissent les Alpes, ne sont-elles pas des témoins éloquents de la destruction du terrain qui les entourait et dont elles faisaient partie? Saussure, en présence du Mont-Cervin, pyramide de plus de mille mètres de hauteur, placée sur le faite le plus élevé des grandes Alpes, ne pouvait s'empêcher de dire:  
 « Quelque partisan que je sois de la cristallisation, il me paraît impossible de croire  
 « qu'un pareil obélisque soit sorti, sous  
 « cette forme, des mains de la nature: . . . .  
 « Tout ce qui lui manque a été rompu et  
 « balayé; car on ne voit autour de lui que  
 « d'autres cimes qui sont elles-mêmes adhérentes au sol et dont les flancs également  
 « déchirés indiquent d'immenses débris. »  
 (Sauss., §. 2244.)

Tous les pics, tous les rochers qui se présentent en saillie sur la masse des montagnes, sont dans le même cas, et prouvent encore la destruction du sol environnant. A Greiffenstein en Saxe, sur un terrain de gneiss, on voit d'énormes colonnes, ou plutôt des masses prismatiques minces, et qui s'élèvent

à plus de cent pieds de hauteur; elles sont divisées en couches ou plutôt en plaques par des fissures horizontales; de sorte que chacune semble formée d'énormes tables de granite empilées les unes sur les autres (1): certainement, à la vue de ces masses et du sol qui les supporte, personne ne croira qu'elles aient été formées par cristallisation, telles qu'on les voit, ou qu'elles aient été soulevées, ou que le terrain environnant se soit affaissé; elles sont évidemment les restes d'un grand banc de granite qui se trouvait dans ce lieu, comme il s'en trouve dans plusieurs autres endroits du voisinage.

§. 96. Les montagnes et buttes isolées dans les plaines sont également les derniers restes ou lambeaux d'un terrain dont elles faisaient partie. Je cite, pour seul exemple, le *Lands-crone*, montagne placée au milieu des plaines de la Lusace, à deux lieues environ du pied de la chaîne qui borne ce pays au sud. Elle présente l'image d'un pain de sucre tronqué, ayant près de trois cents mètres de hauteur: elle est de granite, ainsi que toute la contrée et la partie de la chaîne voisine; mais sa sommité consiste en un plateau de basalte de soixante-dix à quatre-vingts mètres d'épaisseur dans toute son étendue. Ce plateau n'est

Montagnes  
isolées.

---

(1) Ce singulier spectacle est représenté dans le tom. VI des planches de l'*Encyclopédie*, format in-folio.

que le reste d'une coulée de lave ; il n'a pu arriver dans sa position actuelle qu'en venant d'un point plus élevé, et il est naturel d'aller chercher ce point, origine de la coulée, sur la chaîne, où se trouvent d'ailleurs beaucoup d'autres basaltes. Il faut donc admettre que l'espace intermédiaire était autrefois rempli, et par conséquent que le terrain, à deux lieues au moins de distance, a baissé de trois cents mètres, et cela dans un espace de temps assez court, puisqu'il ne remonte pas jusqu'à l'époque où nos volcans ont paru. La conséquence serait à peu près la même lorsque l'origine du courant basaltique eût été pris ailleurs que sur la chaîne.

La considération des montagnes isolées offre souvent au géologue bien des sujets de méditation sur les révolutions que la surface de notre globe a éprouvées, et sur l'abaissement considérable des terrains. Arrêtons un instant notre attention sur le Mont-Meisner, situé dans la Hesse, à six lieues au sud-est de Cassel. Il s'élève, comme un colosse, au-dessus des montagnes environnantes, dont il est d'ailleurs entièrement séparé. Sa sommité présente une plaine, ayant deux lieues de long sur une de large, située à plus de six cents mètres au-dessus de la rivière qui coule au bas, et à environ sept cents mètres au-dessus de la mer. Le corps de la montagne, ainsi que le terrain environnant, consiste en calcaire coquiller et en grès : au-dessus, et sur une assise de sable, on a une couche de lignite, ayant jusqu'à trente mètres d'épaisseur en quelques points ; elle est recouverte par une énorme coulée de basalte de cent à cent cinquante mètres de hauteur, laquelle constitue le plateau supérieur. L'observateur, après avoir étudié la composition de cette montagne, et jeté les yeux sur les contrées voisines, ne pourra se dispen-

ser de dire : L'énorme tas de bois fossile qui repose sur cette cime y a été certainement charrié : tous ces arbres n'ont pas crû sur le lieu même ; les eaux qui les ont amenés venaient de plus haut, et le sol sur lequel elles les ont déposés était ainsi un bas-fonds : le courant basaltique qui les a recouverts sortait d'un cratère placé vraisemblablement à un niveau encore supérieur. La haute contrée d'où ils sont venus, et d'où la lave est sortie, n'existe plus ; la montagne domine aujourd'hui tout le pays d'alentour, à quinze lieues à la ronde ; et au-delà, dans toute la basse Allemagne, il n'y a au-dessus d'elle qu'un petit nombre de cimes isolées. Tout le terrain contigu qui lui était supérieur, a donc disparu, il a été détruit et emporté, et il ne peut l'avoir été par une cause violente et momentanée ; la main seule du temps, à l'aide des éléments atmosphériques, a pu tailler ainsi la montagne dans tout son pourtour, en faire une masse isolée et dégagée de tous côtés.

§. 97. Les nombreux blocs de roche qu'on trouve assez souvent dans certains terrains, notamment dans ceux de granite, et que tout indique être encore dans le lieu où ils ont été produits, ou du moins à une bien petite distance, seront aussi un effet manifeste, et, par suite, une preuve de l'abaissement du sol. Par exemple, dans les environs de Iluelgoat, en Bretagne, on voit des espaces plats recouverts de grosses boules ou masses sphéroïdales de granite de deux à trois mètres d'épaisseur : les circonstances locales, et la connaissance des effets de la décomposition sur les roches, ne m'ont pas permis de douter que ces boules et masses ne fussent les restes et comme les parties les plus dures de la masse granitique qui avait autrefois existé dans ce lieu. Tous

*Blocs isolés.*

les géologues ont observé des faits semblables.

Plusieurs naturalistes regardent encore, sinon comme une preuve, du moins comme une suite de la destruction des anciens terrains, la position vraiment surprenante des blocs que l'on trouve quelquefois sur un sol auquel ils sont absolument étrangers, et où ils ont été évidemment transportés. C'est ainsi que dans les montagnes secondaires du Jura, sur le versant qui regarde les Alpes, lorsqu'une autre montagne n'est point interposée, on trouve, à une hauteur plus ou moins considérable, et qui s'élève jusqu'à huit cents mètres au-dessus du lac de Genève, un grand nombre de fragments de roches primitives, dont quelques-uns ont mille mètres cubes : ils n'y sont nulle part en plus grande abondance et à une plus grande hauteur que vis-à-vis les grandes vallées alpines ; ils viennent incontestablement de ces vallées, et leur nature permet presque d'indiquer les montagnes dont ils ont fait partie. Dolomieu pensait qu'ils étaient arrivés dans leur position actuelle, poussés par des torrents, en descendant sur un plan ou terrain incliné qui s'étendait originellement des Alpes jusqu'aux parties du Jura où on les trouve : ce terrain, aujourd'hui détruit et emporté, remplissait l'espace maintenant occupé par la basse Suisse. De même, toutes les plaines du Nord de l'Europe présentent, sur un terrain de transport, de gros blocs de roches primitives. MM. de Buch et Hausmann ont reconnu l'identité de nature entre ceux de la basse Allemagne et les masses qui constituent les montagnes de la Scandinavie, de l'autre côté de la mer Baltique : peut-être encore ici ce sera en s'avancant peu à peu sur un terrain incliné, qui occupait autrefois une partie de la Baltique, que ces blocs seront descendus des montagnes dans les plaines (1).

---

(1) Voyez, sur ces faits bien extraordinaires et sur les hypothèses à l'aide desquelles on s'est efforcé à les expliquer, Saussure, §§ 208—212 ; et l'extrait d'un intéressant Mémoire de M. de Buch, sur les blocs du Jura, suivi de judicieuses réflexions de M. Brochant, dans les *Annales de chimie et de physique*, tom. 7 et 10.

*b) Morcellement des couches.*

§. 98. Lorsque l'abaissement du sol ne se fait que par parties, et que la masse, restant à sa primitive hauteur, est d'un volume plus considérable, le tout présente l'image d'un terrain morcelé, dont les diverses assises ou couches sont comme découpées, et des deux côtés de la découpure, c'est-à-dire de l'intervalle qui sépare les massifs, on voit les parties des mêmes couches se correspondre parfaitement.

Circonstances du morcellement.

Je vais donner un exemple de ce fait, qui le mettra hors de tout doute, et qui montrera en même temps la manière dont il peut se produire. A Adersbach, en Bohême, et dans un terrain de grès, on voit une vallée dont le fond plat offre une grande et belle prairie; de différents points de sa surface, il s'élève une multitude de masses colonnaires d'un grès blanc, ayant quelquefois jusqu'à cent mètres de hauteur, et qui présentent l'image d'énormes quilles dressées sur ce tapis de verdure. Lorsqu'on se promène entre ces colonnes, on voit que chacune est composée de couches qui diffèrent entre elles, soit par la grosseur du grain, soit par diverses nuances de couleur, et on remarque que, dans les colonnes voisines, les couches de même nature se correspondent entièrement; elles sont exactement à la même hauteur, et il est impossible de ne

pas voir qu'ellès ne sont que les portions d'une seule et même couche qui traversait originai-  
rement toutes les colonnes, et que les por-  
tions intermédiaires ont été enlevées. On n'en  
saurait plus douter, lorsqu'en approchant du  
coteau qui borne la prairie, on voit les co-  
lonnes se rapprocher les unes des autres, et  
bientôt ne former plus qu'une seule masse.  
Là, on a sous les yeux, et de la manière la  
plus évidente, tout le secret de cette singu-  
lière formation. La masse ou montagne est  
traversée par des fissures verticales, se cou-  
pant presque à angles droits, ainsi que cela  
a lieu dans un grand nombre de grès : les  
agents atmosphériques, pénétrant dans ces  
fissures, en attaquent les parois; le ciment  
du grès se décompose, ses grains se détachent,  
tombent au fond des fissures ou fentes, et  
sont entraînés par les eaux qui y coulent en  
temps de pluie : peu à peu les fentes s'élar-  
gissent, les prismes de roche compris entre  
elles diminuent de volume, et ils finiront par  
disparaître entièrement.

Les nombreux monts isolés, recouverts par  
des plateaux basaltiques qu'on voit à peu de  
distance les uns des autres près de Clermont  
en Auvergne, tels entre autres que le mont  
Gergovia, le Puy-Girou, le mont Rodeix, le  
mont Redon, le Puy-d'Araigne, la serre de  
Saint-Amand, etc., m'ont présenté un des  
exemples les plus frappants qu'on puisse voir



du morcellement des couches minérales et des coulées volcaniques. M. de Montlosier avait déjà cité et fait ressortir ce fait, et il en avait déduit toutes les conséquences qu'on peut en tirer, relativement aux dégradations de l'ancien sol du pays et à l'abaissement de son niveau (1). Je ne répéterai pas les observations du même genre que m'ont fourni les basaltes de la Saxe (2), et je terminerai par un exemple convaincant et à la portée d'un bien grand nombre d'observateurs.

Qu'on se transporte sur la butte de Montmartre, et qu'on examine les coteaux qui bordent la vallée, au nord de Paris, jusque vers Ménilmontant. Partout où la roche est à nu, on verra des couches de gypse, entremêlées de couches d'argile ou de marne, s'étendre presque horizontalement, traverser tous ces coteaux en conservant la même épaisseur, et se raccorder avec celles de Montmartre. La mince couche d'argile dans laquelle se trouve le ménilite, comprise entre deux bancs de gypse, et formant une bande bleuâtre au milieu de la masse blanche, partout où des coupes mettent à découvert la structure du terrain, frappera surtout l'observateur. Celui qui serait le moins porté à conclure, ne pourra s'empêcher de dire :

(1) Voyez l'excellent ouvrage de cet auteur sur les volcans d'Auvergne.

(2) *Mémoires sur les basaltes de la Saxe*, pag. 55 et suiv.

Cette couche, comme chacune des autres, faisait autrefois un tout continu, qui s'étendait dans toute la contrée; elle existait dans l'intervalle qui sépare les coteaux, et si elle n'y est plus aujourd'hui, c'est qu'une cause, quelle qu'elle soit, l'en aura enlevée : elle ne peut s'être enfoncée, puisque le sol des intervalles est formé par le prolongement des banes qui lui sont inférieurs dans les endroits où elle existe encore. En cherchant ensuite quelle peut être cette cause qui aura enlevé ces portions intermédiaires qui manquent aujourd'hui, et qui en aura transporté ailleurs les débris, il n'en pourra pas même concevoir d'autre que les agents atmosphériques : eux seuls ont exercé une action sur cette partie de la surface du globe.

Causes des  
inégalités  
dans le mor-  
cellement.

§. 99. Mais d'où vient, demandera-t-on, que certaines couches ou portions de couche sont ainsi détruites, tandis que d'autres restent intactes? D'où vient que la décomposition fait baisser le niveau d'un terrain sur un point, et le laisse à son ancienne hauteur sur un autre? C'est que toutes les couches, et toutes les portions d'une même couche, ne sont pas également dures, également faciles à décomposer, et qu'elles ne sont pas également exposées à l'action érosive des éléments. Les granites et les basaltes, entre autres roches, présentent les plus grandes différences dans leur aptitude à la décomposition : quel

est le minéralogiste qui, au milieu même des granites qui tombent réduits en gravier, dès leur contact avec l'atmosphère, n'a pas remarqué des noyaux et de gros quartiers du roc le plus dur ? Fréquemment j'ai vu, à côté l'un de l'autre, deux basaltes, dont l'un noir, très-compacte, divisé en prismes, paraissait braver toute décomposition, tandis que l'autre y cédait facilement, sa partie extérieure était déjà convertie en terre. Vraisemblablement les portions des coulées basaltiques de l'Auvergne, qui ont été détruites, étaient de cette dernière nature : le granite, placé au-dessous, se sera trouvé en proie à l'action destructive de l'atmosphère, et il aura baissé peu à peu de niveau ; les parties dures des mêmes coulées auront résisté, et elles seront restées à leur première hauteur, supportées et soutenues par la partie du terrain qui était au-dessous et qu'elles auront mise à l'abri de la décomposition.

Des circonstances particulières, dans la forme et les accidents d'un terrain, font souvent que quelques parties sont plus fortement attaquées que les autres : par exemple, les fissures qui traversent la montagne de grès d'Aderbach ayant donné entrée et prise aux agents destructeurs, ils en ont attaqué les parois, ils ont élargi les fentes, ils ont ainsi morcelé la montagne, et ils l'ont comme découpée en masses colonnaires : ici la décom-

position s'est faite principalement dans le sens latéral.

*c) Formation des vallées.*

Circonstances de la formation.

§. 100. La disposition du terrain, en dirigeant l'érosion dans une certaine direction, peut y occasioner la destruction et l'abaissement du sol; et si les parties voisines de droite et de gauche restent intactes, il se formera une vallée.

Pour nous faire une idée exacte d'une pareille formation, représentons-nous un grand terrain assez fortement incliné, et que, par un effet de sa configuration primitive, il offre en un endroit une légère dépression, par exemple, un creux d'une très-petite profondeur. Les eaux pluviales, soit celles qui tombent directement sur cette sorte de bassin, soit celles qui y arrivent sous forme de sources, s'y rassembleront; elles en sortiront par le point le plus bas du pourtour, et de là elles descendront sur le terrain incliné, en suivant la ligne (droite ou sinueuse) de plus grande pente. En coulant continuellement sur cette ligne, comme dans une rigole, elles en corroderont et approfondiront le sol (§. 48), et elles s'y creuseront un lit. Les parois de cette espèce de canal, exposées à l'action de l'atmosphère, éprouveront, comme toutes les roches, ses effets; les molécules que la décomposition en détachera, tomberont par

leur poids, ou seront entraînées par les pluies dans le courant, lequel les emportera plus loin. La pesanteur, favorisée par les diverses circonstances dont nous avons parlé (§§. 51 et 52), occasionnera l'éboulement de quelques portions de ces mêmes parois; des blocs tomberont au fond du sillon, ils s'y décomposeront, et finiront par se résoudre en un gravier ou en une terre qui sera entraînée en grande partie par les eaux. De cette manière, et par l'effet continuellement répété des mêmes agents, le canal s'approfondira, s'élargira, et il finira, avec le temps, par être une vallée.

Ce n'est que comme exemple d'un accident du terrain que nous avons pris une dépression pour cause première de la formation d'une vallée, ou plutôt pour cause de l'existence d'une vallée sur un point et non sur un autre; car d'ailleurs un grand nombre d'accidents divers, tels qu'une fente, un léger pli en forme de gouttière, la présence d'une roche plus tendre ou plus facile à corroder, peuvent avoir déterminé l'emplacement.

§. 101. Mais un courant d'eau peut-il creuser et approfondir le lit sur lequel il coule? Outre ce que nous avons dit des effets des eaux courantes sur les roches (§. 48), je puis donner en preuve un exemple qui se rapporte directement à notre objet. Dans les granites du haut Vivarais, vers les sources

Appréciation de la force des agents qui concourent à l'excavation des vallées.

de l'Ardeche, on a plusieurs vallées profondes; dans quelques-unes, dans celles de Montpezat, de Jaujac, d'Antraigues, etc., et à une époque très-récente, comparativement à celles indiquées par divers monuments de la nature dans ces mêmes montagnes, des volcans sont venus couvrir de leurs laves le fond de ces vallées (1). Les faibles ruisseaux, qui avaient été déplacés, sont revenus; ils se sont ouvert un nouveau lit entre la lave et le granite, et ils l'ont approfondi, en plusieurs endroits, de quelques pieds au-dessous de celui qui existait lors des éruptions volcaniques; car on voit distinctement leurs produits reposer sur des bancs de galets, lesquels indiquent le fond de l'ancien lit, et le nouveau est au-dessous. Voilà donc une portion de vallée approfondie de quelques pieds, depuis une époque peu éloignée dans la chronologie de la nature. Voilà, dirait Playfair, l'*élément différentiel* de l'excavation des vallées; le temps reste chargé de son *intégration* (2). Le

---

(1) Voyez l'ouvrage de M. Faujas, sur les volcans éteints du Vivarais, et *Histoire naturelle de cette province*, par M. Soulavie.

(2) J'essaie la traduction du passage par lequel le mathématicien écossais termine son éloquent récit des dégradations de nos continents. « Tels sont les changements que l'action journalière des agents destructeurs produit à la superficie de la terre. Ses effets, peu considérables si on les prend un à un, deviennent immenses en conspirant tous vers une même fin, sans jamais se contrarier, et en agissant constamment dans une même direction, durant un laps de temps absolument indéfini. Tout descend et rien ne remonte; tous les corps durs se décomposent, et aucune masse

temps, qui a des limites si étroites pour nous, n'en a plus pour la nature ; pour elle, il est aussi indéfini que l'espace : l'un et l'autre dépassent même ce que peut concevoir notre imagination. Il est, en outre, bien vraisemblable qu'originellement les eaux ont été plus abondantes qu'aujourd'hui, et que leur masse a ajouté ainsi à leur force. M. de Humboldt a souvent manifesté l'opinion que les rivières chariaient autrefois incomparablement plus d'eau, et il a remarqué des traces non équivoques de leur ancien rivage à des hauteurs qu'elles n'atteignent plus. Il pense que plusieurs d'entre elles occupaient ces grands lits au milieu desquels est creusé leur encaissement actuel, et que nous avons représentés comme les vallées des plaines (§. 37) : effectivement le sol de ces grands

molle, aucune terre meuble ne se consolide. Les forces qui tendent à conserver et celles qui tendent à changer l'état de la surface du globe ne sont jamais en équilibre : ces dernières sont les plus puissantes ; elles sont des *forces vives* ; les autres sont comme des *forces mortes*. Cette loi de dégradation est une de celles qui n'admettent point d'exceptions : les éléments de tous les corps étaient autrefois incohérents et séparés ; ils retourneront tous dans ce même état ; tel est l'ordre invariable de la nature.

« On ne saurait objecter contre la réalité de cette marche, sa lenteur, qui la rend comme insensible aux yeux de l'homme. Ce que nos observations peuvent en constater, n'est qu'une quantité évanescence en comparaison du tout ; ce n'est que l'augmentation instantanée d'une immense suite qui n'a d'autres limites que celles de l'existence du monde. Le temps intègre cet élément infiniment petit, il somme les termes de cette suite, et la grandeur du résultat étonne notre imagination. » *Illustrations of the Huttonian theory*, §§. 114 et 115.

lits est formé le plus souvent par un terrain d'alluvion et de transport de même nature que celui que le fleuve dépose, mais qu'il ne saurait plus déposer actuellement, même dans ses crues extraordinaires.

Les faits prouvent encore et manifestement ce que peut la décomposition des roches pour l'élargissement des vallées. Combien de fois, marchant sur les terrains granitiques de la Silésie, de l'Auvergne, des Cévennes, des Pyrénées orientales, etc., ne m'y enfonçai-je pas comme dans un tas de gravier ! Il aura suffi d'une forte pluie d'orage pour enlever cette écorce ainsi décomposée jusqu'à un et deux pieds de profondeur, et pour l'entraîner dans le torrent, lequel l'emportera ensuite hors de la vallée. La décomposition pénétrera bientôt la roche mise à nu de nouveau ; elle en détachera une nouvelle écorce ; et peut-être, au bout de vingt, trente ou cinquante ans, un nouvel orage élargira encore la vallée d'un ou deux pieds. Remarquons que les effets de la décomposition doivent être, toutes choses égales d'ailleurs, bien plus grands sur les parois verticales ou fortement inclinées d'une vallée, que sur une surface horizontale : ici le poids des molécules désagrégées les retient en place ; l'écorce qu'elles forment s'épaissit continuellement, et elle préserve de la destruction, en tout ou en partie, le roc qui est au-dessous : dans les



parois des vallées, au contraire, la pesanteur précipite les molécules du moment qu'elles sont désagrégées; et il se présente une surface continuellement renouvelée à l'action destructive de l'atmosphère. De plus, sur une superficie horizontale, l'eau, n'ayant presque pas de vitesse, emmènera difficilement les produits de la décomposition; et elle les entraîne avec facilité sur des faces inclinées.

On ne contestera pas aux courants qui sont dans les vallées élevées, la force d'emporter les produits de la décomposition. En plusieurs endroits on les voit couler sur le roc vif; et cependant on ne peut douter que les pluies et les averse qui tombent sur les terrains adjacents, ne leur apportent continuellement une grande quantité de pierres, de sable, de terre et de limon.

Celles de ces substances que le torrent n'entraîne point, ou plutôt celles qui ne tombent pas dans son lit, s'amoncellent au bas des parois de la vallée, et s'y disposent naturellement en talus. Par l'effet de ce revêtement, la partie inférieure des parois est préservée, tant des effets de la décomposition, que de l'action des causes qui produisent les éboulements; de sorte que, toutes choses égales d'ailleurs, la vallée doit bien plus s'élargir dans le haut que dans le bas.

Qu'on ne nous dise plus qu'en attribuant à des filets d'eau l'excavation des vallées qui

ont quelquefois plus de cent lieues de long, une lieue de large et près de mille mètres de profondeur, nous admettons une cause qui n'est en aucun rapport avec l'effet produit. Des filets d'eau ne sont pas le seul agent; et la cause que nous reconnaissons, est celle qui a baissé tout le sol d'une partie de la basse Allemagne à quelques centaines de mètres au-dessous de la sommité du Mont-Meisner, qui a baissé le faite des grandes Alpes de plus de mille mètres au-dessous de la cime du Mont-Cervin, etc. Quelque petit que paraisse d'abord un effet; étant répété une infinité de fois, il devient infiniment grand.

La disposition et la structure des vallées décident leur origine.

§. 102. La disposition des vallées, leur direction, leur forme, la stratification des montagnes qui les bordent, sont encore des indices de l'origine que nous leur attribuons.

Il n'y a pas de personne qui n'ait remarqué la manière dont les eaux, principalement après une pluie d'orage, ont sillonné et raviné les tertres et les terres présentant un talus considérable. Dans la disposition de ces petits ravins, par rapport au plan de pente sur lequel ils se trouvent, dans leurs sinuosités et dans les déviations de leur direction, dans leurs ramifications et embranchements, dans la forme des massifs de terre interposés entre eux, etc., il aura l'image la plus fidèle des faits du même genre que présentent les val-

lées et les montagnes. En examinant, dans nos cabinets, les modèles en relief des chaînes, on croit voir quelques-uns de ces tertres ainsi ravinés : la parfaite identité dans la découpe porte naturellement à soupçonner l'identité dans la cause. A l'aspect de cette singulière disposition et ramification des vallées, on ne peut s'empêcher de reconnaître, avec Playfair, que ce sont les coups souvent répétés du même instrument qui ont gravé si profondément ces traits sur la surface du globe; et cet instrument est surtout la force érosive et décomposante de l'eau. Quant à moi, il m'est impossible d'en douter, lorsque, placé sur une chaîne de montagnes, je considère tous ces traits, c'est-à-dire les vallées des divers ordres, les gorges, et que je les vois toutes, jusque dans leurs dernières ramifications, dirigées suivant la ligne de plus grande pente des versants et surfaces qui les présentent (§. 25). Car, enfin, *les eaux sont capables de produire un pareil effet; elles tendent à le produire, et tout est réellement comme si elles l'avaient produit.*

La forme des vallées, en général, leur rétrécissement à mesure que la quantité d'eau qu'elles charient ou qu'elles peuvent recevoir, est moindre; leurs ramifications, notamment à l'extrémité supérieure; leur fréquente et insensible disparition vers le faite; la correspondance remarquable entre les angles

saillants et les angles rentrants qu'elles présentent si fréquemment, sont encore autant d'indices de l'origine que nous leur avons assignée, et autant de faits qui sont en opposition avec tout autre mode de formation.

Il en est de même des circonstances de la stratification des montagnes qui les bordent. Presque toujours, lorsque ces montagnes sont très-rapprochées, leurs couches, si elles sont horizontales, se correspondent de part et d'autre; si elles sont verticales, et qu'elles soient dans une direction transversale à la vallée, on voit la même couche se reproduire sur un des côtés, dans le prolongement de la partie qui est sur le côté opposé; cela est surtout frappant lorsqu'une de ces couches, plus dure que les autres, et ayant plus résisté à la décomposition, est en saillie sur les flancs de la montagne. Enfin, si les couches sont inclinées, elles se présentent, avec la même direction et la même inclinaison, dans les deux montagnes opposées : en un mot, dans tous ces cas, la stratification est exactement la même que si le terrain avait autrefois formé un tout continu, et que la vallée ne fût que l'effet d'un déblai accidentel. Lorsque la vallée est fort large, les montagnes qui la bordent se trouvant éloignées, on ne peut plus tirer aucune induction de l'examen comparatif de leur stratification : on sait combien les couches sont sujettes à

des variations dans leur allure, même à des distances peu éloignées.

§. 103. Comment, d'après des faits si notoires sur la stratification, Deluc a-t-il pu produire, et soutenir avec tant d'opiniâtreté, l'opinion que les couches de part et d'autre des vallées inclinaient vers le thalweg, et qu'elles étaient ainsi parallèles aux parois de ces vallées? Il les regarde comme ayant été originairement horizontales; de nombreux affaissements qui sont survenus ensuite, et qui ont donné naissance aux vallées, en ont occasionné la rupture et l'affaissement: la partie qui répondait immédiatement au dessus du thalweg s'est abaissée, tandis que celle qui formait la crête des rameaux voisins, est restée à sa primitive hauteur, ou s'est même élevée au-dessus. Cette rupture et ce mouvement de bascule seraient pareils à ceux que présenterait une planche soutenue vers ses deux extrémités, et rompant sous le poids d'un corps placé sur elle. J'ai bien vu, dans les Alpes calcaires des environs de Genève, du Jura et de la Savoie, des couches inclinées effectivement vers le milieu de la vallée; c'est un fait particulier qui tient peut-être à la configuration qu'avait déjà le terrain à l'époque de la formation de ces couches secondaires; mais dès qu'on entre dans le centre des Alpes, et en général dans toutes les montagnes primitives, on ne voit plus rien

Opinion de Deluc et autres sur la formation des vallées.

de pareil. J'ai passé une partie de ma vie à observer ces montagnes, et je puis assurer que presque partout la stratification y est absolument indépendante de la direction et de la forme des vallées; que ces vallées y sont comme de simples solutions de continuité, opérées après que les couches minérales avaient pris la forme et la position qu'elles ont aujourd'hui.

Je ne m'arrêterai pas à réfuter l'opinion de Deluc sur la formation des vallées. Par quel miracle, dans les Pyrénées, comme dans toute autre chaîne régulière, les affaissements qui ont produit les vallées transversales ont-ils été faits perpendiculairement au faite, et en respectant ce faite? Comment, ensuite, les affaissements pour les vallées secondaires ont-ils été faits perpendiculairement aux crêtes des rameaux, et en respectant ces crêtes? Comment des affaissements ont-ils produit toutes ces ramifications disposées très-souvent en patte d'oie, toutes ces simples sinuosités de terrain par lesquelles les vallées vont presque toujours se perdre insensiblement sur les faîtes, ou les crêtes, et les plateaux?

Ceux qui ont voulu que les montagnes fussent produites par des soulèvements, avaient-ils pris également en considération toutes ces mêmes circonstances de la structure et de la terminaison des chaînes et des vallées? Avaient-ils oublié que nos plus grandes chaî-

nes, extrêmement étendues en longueur, ne sont que de faibles ondulations de la surface du globe diversement découpées (§§. 23 et 33); que les couches qui les constituent affectent, dans leur direction, une constance ou régularité admirable, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant; que ces couches ne sont ni plus inclinées, ni plus tourmentées dans les régions élevées que dans les régions basses; qu'elles le sont moins sur la cime des Alpes, au Mont-rose, que sous les plaines de la Flandre, aux mines de Valenciennes ou de Mons?

Ceux qui prétendent que les vallées ont été ouvertes par des courants, soit dans le fond des mers, soit lors de grandes débâcles, avaient-ils vu que toutes vallées sont fermées par leur extrémité supérieure? Que, dans la même chaîne, si celles du premier ordre sont dans une même direction, celles du second leur sont perpendiculaires, et que, par suite des déviations que celles de tous les ordres présentent si souvent, il y a, sur une même chaîne, des vallées ou vallons dans toutes sortes de directions.

Ceux, enfin, qui n'ont vu dans nos montagnes que le redressement de diverses parties de la croûte de la terre, croûte fracassée par le choc d'une comète, se rappelaient-ils qu'il existe des montagnes sur tout le pourtour du globe, et que les plus grandes n'y sont pas

même comme les petites aspérités sur la peau d'une orange ?

Produit de  
la décompo-  
sition trans-  
porté dans les  
plaines et les  
mers.

§. 104. Que sont devenus tous les débris provenant de l'abaissement des terrains, du morcellement des couches et de l'excavation des vallées ? Une petite partie est restée au fond des vallées, et elle y formé le revêtement de terre et de pierres qui couvre la partie inférieure des parois, et qui occupé leur fond : le reste a été entraîné par les eaux, déposé sur le sol des grandes plaines, ou emporté dans le sein des mers et étendu sur leur lit et sur leurs côtes.

Objections  
de Deluc.

Deluc fait une objection bien forte contre la destination que nous donnons ici au produit de la destruction des roches, et, par suite, contre cette destruction, notamment contre l'excavation des vallées. Qu'est devenue, dirait-il, par exemple, cette immense quantité de matière minérale qui aurait rempli la grande vallée du Rhône et les vallées affluentes ? A-t-elle été emportée par le fleuve et étendue sur les contrées qu'il traverse, ou a-t-elle été portée à la mer dans laquelle il se décharge ? Cela est impossible : le lac de Genève intercepte toutes les pierres et presque toutes les terres que le Rhône peut emmener des Alpes ; son onde sort toujours pure du lac : les débris auraient dû combler le bassin : avant qu'il le soit, aucun ou presque aucun ne peut aller au-delà. De même, le Rhin ne peut rien ou presque rien charrier au-delà du lac de Constance ; ce n'est donc pas lui qui a amené et déposé le terrain de transport des plaines de l'Alsace, et encore moins celui des plaines de Cologne et de la Hollande. De même, le Tessin, qui ne sort des Alpes qu'en traversant le lac Majeur, ne peut avoir porté leurs débris dans les plaines de la Lombardie, etc. Cette objection, dont nous sommes loin de contester la force, prouve formellement que le Rhône, le Rhin, le Tessin, etc., ne portent aujourd'hui au-delà des lacs



qu'ils traversent aucun des produits de la décomposition des roches qui sont en amont. Mais l'état actuel des choses existait-il à l'époque où les vallées ont commencé à être creusées, et où les terrains de transport ont commencé à être étendus sur les parties basses du globe? Je ne le pense pas. Les terrains des plaines de l'Alsace, de la Hollande, de la Lombardie, etc., n'ont pas été déposés par les fleuves actuels : tout indique qu'ils l'ont été dans le sein d'une eau tranquille; et ce n'est que depuis la retraite de cette eau que date l'ordre actuel : la date est peu ancienne. Avant cette époque, la configuration du fond de ces mers ou lacs, c'est-à-dire le fond des grandes vallées, n'était peut-être pas la même qu'aujourd'hui. Quoique presque tous les fleuves qui entrent dans la Lombardie traversent de grands lacs, Saussure, qui connaissait d'ailleurs l'objection de Deluc, n'en pensait pas moins que l'énorme couche d'atterrissement qui forme le sol de cette partie de l'Italie venait des Alpes, et qu'elle était le produit de leur destruction et de leur décomposition. Il n'en croyait pas moins, car le fait est d'une évidence manifeste, que, depuis leur consolidation, ces montagnes avaient éprouvé de prodigieuses dégradations, que leurs couches avaient été morcelées, et que l'excavation de la plupart de leurs vallées était un effet de l'érosion des eaux pluviales, des torrents et des rivières. (Sauss., §. 920.)

Le redressement des couches lui paraissait être l'autre cause de l'existence des vallées, et particulièrement de celles qu'il nommait *longitudinales*, et dont la direction était, d'après lui, parallèle à la stratification des montagnes qui les bordent. De parcs redressements, ou plutôt renversements des couches, qui ont incontestablement eu lieu et qui se sont effectués immédiatement après la formation des terrains, ou, dans la plupart des cas, avant leur entière consolidation (§. 92), ne peuvent manquer en effet d'avoir été la cause directe ou indirecte de l'existence de plusieurs vallées.

§. 105. Nous aurons donc, 1.<sup>o</sup> des vallées primordiales, c'est-à-dire, de même date que la surface minérale du globe (§. 91); 2.<sup>o</sup> des

Différentes  
sortes de  
vallées quant  
au mode de  
formation.

vallées dues en partie aux renversements des couches, avant l'entière consolidation des terrains; 3.<sup>o</sup> des vallées occasionées par quelques fentes ou autres accidens postérieurement à cette consolidation; 4.<sup>o</sup> enfin des vallées produites par l'action de l'eau et de l'atmosphère. Si celles-ci ne sont pas toujours les plus considérables, elles seront bien certainement les plus nombreuses; et la cause qui les a creusées aura encore donné aux autres leur forme actuelle; elle aura produit la plupart de leurs vallées secondaires, de leurs gorges et de leurs ramifications : c'est un fait, et un des faits positifs de la physique du globe.

ART. 3. *Effets dus aux volcans et aux tremblements de terre.*

Effets  
des volcans

§. 106. Des nuages de cendres et de sable, une grande quantité de scories sortent de la bouche des volcans et se déposent sur les contrées voisines, où elles forment des couches de tufs. Ces mêmes bouches vomissent des torrens de lave, qui, en se répandant sur le sol voisin, le couvrent d'une couche solide plus ou moins épaisse. Enfin ces courants et les produits des déjections, en s'amoncelant autour des bouches, forment des montagnes quelquefois d'une bien grande hauteur. C'est ici le plus grand effet des volcans sur la surface de la terre; il a produit

l'Etna, le pic de Ténériffe, le Cotopaxi, l'Antisana, etc., qui égalent presque en élévation les plus hautes montagnes du globe.

Comparons un instant, sous le rapport de la quantité, ces divers produits, qui constituent le sol volcanique, avec les autres espèces de terrains.

Remarquons d'abord que les produits des éruptions et des déjections des volcans ne se trouvent guère qu'à la surface du globe, et qu'ils n'entrent point dans sa charpente. Lors même que quelques-unes des assises de l'édifice seraient de nature analogue aux produits volcaniques, analogie qui n'est hors de doute que pour les masses trachytiques, elles auraient encore un mode de formation différent de celui des laves actuelles, c'est-à-dire qu'elles ne seraient pas arrivées dans leur position actuelle, en sortant d'un cratère, et en coulant sous la forme de nos courants ignés. En un mot, il paraît que la formation des roches et de leurs couches était terminée ou presque terminée, lorsque nos volcans ont percé la surface du globe et s'y sont allumés. Plusieurs d'entre eux sont déjà éteints, et le nombre de ceux qui brûlent encore est d'environ deux cents (§. 60).

Quelque abondantes que soient leurs déjections pulvérulentes, à quelque grande distance qu'elles soient portées, les terrains meubles qu'elles forment ne seront encore

presque rien en comparaison des autres terrains de transport ; le sol de la Campanie, peut-être la plus grande région de tufs volcaniques de l'Europe, n'est rien en comparaison des grandes plaines de sable de la Hollande et de la basse Allemagne. A quoi se réduisent les effets du Vésuve ? A avoir élevé un cône de 1200 mètres de haut, et à avoir recouvert de ses laves et de ses scories un espace qui n'a pas vingt lieues carrées : l'Europe en a près de cinq cent mille, et le Vésuve est le seul volcan de l'Europe continentale. L'espace que les volcans de l'Asie ont pu recouvrir de leurs produits, n'est qu'un infiniment petit en comparaison de l'étendue de ce vaste continent. L'Etna brûle de temps immémorial, bien antérieurement aux époques historiques : c'est un des grands volcans en activité, et ses laves n'ont guère recouvert plus de cent lieues carrées : ainsi, en le prenant pour terme moyen, on n'affaiblira pas la supputation, lorsqu'on dira que les deux cents volcans brûlants n'ont pas étendu leurs effets sur vingt mille lieues carrées, c'est-à-dire sur la treize-centième partie de la surface du globe ; et sur cette très-petite portion ils y ont répandu une couche de lave et de scories, dont l'épaisseur moyenne n'est probablement pas de cent mètres ; ils y ont élevé deux cents cônes volcaniques qui n'ont point, l'un dans l'autre, trois mille mètres de hauteur.

Je ne pense pas, d'après les observations qui me sont connues, qu'on puisse admettre que les volcans éteints, y compris les terrains basaltiques, couvrent aujourd'hui de leurs produits un espace bien plus grand. Les masses ignées de plus ancienne époque, les trachytes, qui n'ont en Europe guère plus de mille lieues carrées, ne présentent pas une étendue plus considérable. En somme, je ne crois pas que les produits volcaniques de toute espèce occupent la quatre-centième partie de la surface du globe terrestre : bien certainement, ils n'en font pas la centième partie.

Les monts volcaniques, tant anciens que modernes, que sont-ils encore par rapport aux autres montagnes ? Qu'est le Vésuve par rapport aux Apennins ? Qu'est l'Etna, avec tous ses monticules, par rapport à la masse des Alpes ? Que sont le Mont-Dore et le Cantal, par rapport à la chaîne des Pyrénées ? Que sont le Cotopaxi, l'Antisana, le Chimborazo, en comparaison de l'immense Cordillère qui les supporte ? Les Pyrénées, les Alpes, etc., font partie de l'écorce minérale du globe ; ce ne sont que des excroissances de cette écorce ; mais l'Etna, le Mont-Dore, etc., sont des corps hétérogènes qui lui sont superposés, ou dont le pied n'est recouvert que par les dernières formations minérales.

Il est difficile de concevoir comment, d'a-

près des différences aussi sensibles, quelques naturalistes, alléguant l'analogie, ont pu croire que les montagnes, en général, avaient été produites par les volcans ou par les agents intérieurs. Ils ont cité, à l'appui de leur opinion, tout ce que l'histoire nous apprend sur les montagnes et les îles élevées par ces agents (1). Mais, parce qu'en lançant une grande quantité de fragments de lave, de scories, de cendres, ils ont produit, par la chute et l'entassement de ces corps, un tas de matières incohérentes, un mont de cendres (*Monte di Cinere*), qui n'a pas 150 mètres de haut (§. 82); parce que, dans le Mexique, ils ont formé, de la même manière, un monceau de pierres demi-fondues, agglutinées par un tuf salin, au rapport de M. d'Elhuyar, s'ensuit-il qu'ils ont aussi élevé la butte de Montmartre, composée de couches horizontales et bien réglées de gypse, de marne, d'argile, etc.? s'ensuit-il qu'ils ont aussi formé la chaîne des Pyrénées, espèce de digue de près de 100 lieues de long, de plus de 2000 mètres de hauteur, composée de couches de granite, de marbre, de schiste, etc., qui se prolongent à de grandes distances, toujours dans la même direction, conservant la même épaisseur, et traversées par des filons métalliques? Parce que les volcans sous-marins, en accumulant

---

(1) Voyez la note VII.

les produits de leurs déjections, ont élevé leurs cimes au-dessus de la mer, et formé ainsi de petits îlots composés de ponces et de rochers brûlés, s'ensuit-il qu'ils ont élevé l'Angleterre, dont le sol est composé de granite massif, de couches calcaires, etc., formant un tout continu, et portant des signes non équivoques de leur ancienne jonction avec celles du continent? Eu raisonnant par analogie, on dirait: les feux volcaniques n'ont jamais rien produit de pareil, et ils ne sauraient le produire.

Ils n'ont pas plus soulevé les montagnes qu'ils ne les ont produites. La forme extrêmement allongée des chaînes de montagne et leur structure, montrent évidemment qu'elles ne sont que des rugosités de la surface du globe, formées en même-temps qu'elle, et qu'il est impossible qu'elles soient le résultat d'un soulèvement. (§. 103.)

En m'exprimant ainsi, je ne pense pas mettre des bornes à la puissance de la nature; ses effets se trouvent trop souvent au-dessus de ma faible intelligence, dans la formation ou l'origine des aérolites, par exemple, pour que je ne veuille point admettre la possibilité de ce que je ne conçois pas: je ne dis donc point qu'elle ne peut pas produire ou même qu'elle n'a pas produit des soulèvements: mais je dis qu'on n'en a aucun exemple, qu'on n'a rien vu ou cité qui y eût le moindre rapport: et que dans les sciences naturelles ce n'est que du connu que l'on doit conclure l'inconnu. Le raisonnement ne saurait y avoir d'autre base que l'analogie; en agir autrement, ce n'est plus suivre la marche qui caractérise aujourd'hui la saine physique: c'est vouloir deviner la nature, et

il est bien rare que nous devinions juste. Lors même que les protubérances de trachyte, que nous voyons sur la surface du globe, seraient sorties de l'intérieur, ainsi qu'il est très-probable; lors même que de grands filons basaltiques consisteraient en une matière qui aurait rempli, de bas en haut, des fentes préexistantes : ces masses, rappelant une matière en fusion ignée et poussée par des fluides élastiques, ayant ainsi quelques rapports avec les éruptions de volcans actuels, ne pourraient nullement porter à en déduire le soulèvement des parties solides du globe (1). On ne saurait non plus le déduire des petits soulèvements partiels qui ont lieu lorsque les agents volcaniques, se faisant jour à travers l'écorce minérale du globe, la crévasent et la brisent; alors ses fragments pourront être déplacés et en partie soulevés : c'est dans ce sens seulement que je crois pouvoir prendre le récit que M. de Humboldt nous fait du soulèvement qui eut lieu lors de la formation du volcan de *Jorullo* (S. 82). « Un terrain de « trois à quatre milles carrés, dit ce célèbre voyageur, que « l'on désigne sous le nom de *Malpays*, se souleva en forme « de vessie. On distingue encore aujourd'hui, dans les couches fracturées, les limites de ce soulèvement : le *Malpays*, vers ses bords, n'a que douze mètres de hauteur au-dessus du niveau ancien de la plaine appelée *las playas de Jorullo*; mais la convexité du terrain augmente progressivement vers le centre jusqu'à 160 mètres d'élévation. » (*Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, liv. III, ch. 8.) Un terrain de quatre milles carrés, d'une matière roide et fragile comme celle de nos couches minérales, soulevé en forme de vessie ! C'est encore un de ces faits que je ne crois pas possibles. Très-vraisemblablement l'auteur a employé ici une expression métaphorique à peu près comme Strabon, rap-

---

(1) Un seul des faits parvenus à ma connaissance, s'il était bien constaté, semblerait justifier une pareille conclusion : ce sont les coraux et branches de corail, qui, au récit de quelques voyageurs, composent, jusque dans leur partie supérieure, quelques montagnes des terres situées dans la mer du Sud; branches qui sont absolument pareilles à celles qui se forment journellement dans cette même mer, et presque au pied de ses montagnes (S. 43.)



portant l'apparition de l'île d'Hiera, au milieu de feux volcaniques, nous la représente *paulatim elata velut instrumentis*. S'il y eût eu un soulèvement réel et total, comment M. d'Elhuyard, minéralogiste distingué, - qui réside au Mexique et qui a visité Jorullo trente ans après sa formation, n'aurait-il pas dit quelques mots de ce fait étonnant dans la notice qu'il a publiée en 1789, sur cette singulière production? (*Bergbaukunde*, tom. 2, p. 443.)

Je ne m'arrêterai pas sur les bouleversements des couches minérales qu'on attribue encore, et je ne sais sur quel fondement, aux agents volcaniques; je me bornerai à remarquer que la base des Apennins se confond avec celle du Vésuve, et que, suivant le rapport des observateurs, on n'observe, au point de réunion, « aucun désordre, aucun renversement des couches, et pas plus d'irrégularités qu'il n'y en a dans les autres monts calcaires très-éloignés des volcans (1). »

En résumant ce qui a été dit, dans cet ouvrage, sur les volcans, nous dirons que leur effet, dans la constitution du globe, se borne à élever, dans quelques contrées, sous forme de montagnes coniques, de grands tas de scories, de fragments de lave et de pierres; à couvrir les alentours, jusqu'à dix et vingt lieues de distance, de courants ou masses de matières fondues, à porter un peu plus loin de minces couches de sables et de cendres; enfin, à donner naissance, en mer, à quel-

---

(1) Breislak, *Institutions géologiques*, §§. 610 et 619.

ques écueils ou îlots de même nature que les montagnes volcaniques; et nous concluons, avec un des grands observateurs des volcans, bien porté d'ailleurs à étendre leur domaine, qu'ils ont pu quelquefois contribuer à changer l'état de quelque partie de la surface terrestre, mais qu'ils n'ont point exercé une influence générale sur l'état actuel du globe (1).

Effets des  
tremblements  
de terre.

§. 107. Les plus ordinaires et les mieux constatés des effets dus aux tremblements de terre, sont les fentes qui se produisent dans les couches minérales, lorsqu'elles éprouvent de fortes secousses : nous en avons cité des exemples (§. 83).

Mais l'effet le plus considérable de ces secousses est d'avoir occasionné le croulement ou l'éboulement des portions de la croûte du globe ou des masses minérales qui manquaient d'un appui suffisant. De-là, en grande partie, les affaissements dont nous avons déjà parlé (§. 92), et qui sont si fréquents dans les terrains volcaniques. L'énorme quantité de matière rejetée par les volcans doit nécessairement laisser, dans l'intérieur de la terre, des vides proportionnés à son volume. Toute la masse de l'Etna, de ses laves et de ses déjections, est sortie des régions situées sous terre, au-dessous et dans le voisinage; elle doit y avoir laissé une cavité immense, et la

---

(1) Breislak, *Institutions géologiques*.

montagne est comme suspendue sur un abîme : il en sera de même du sol d'un grand nombre de contrées volcaniques, de celui de Quito, par exemple, où M. de Humboldt est quelquefois tenté de ne voir qu'un seul et immense volcan, dont le Cotopaxi, le Pichincha, etc., seraient les différentes bouches. Lorsque les secousses du tremblement sont assez fortes pour rompre les voûtes, soit primordiales, soit formées par l'enlacement des laves, ou pour briser les piliers encore existants, ces montagnes et ces terrains retombent dans les gouffres d'où ils étaient sortis. C'est ainsi que, dans le tremblement de terre arrivé à la Jamaïque, en 1692, la plus haute montagne de l'île fut engloutie, et est remplacée par un lac (1) : qu'en Islande une montagne d'une hauteur considérable s'enfonça, en une nuit, par un tremblement de terre, et qu'un lac très-profond prit sa place (2) ; que, le 11 Août 1772, le volcan le plus considérable de Java, ayant plus de trois lieues (quarante milles, disent d'autres auteurs) de circuit, s'abîma tout à coup, après une courte et violente éruption, entraînant avec lui quarante villages et deux mille habitants (3) ; qu'en 1638, le volcan du Pic, dans les Moluques, que l'on découvrait en mer à plus de trente milles, et qui tenait

(1) Bertrand, *Mémoire sur les tremblements de terre*,

(2) Buffon, *Suppl.*, in-4.<sup>e</sup>, tom. 1.<sup>er</sup>, pag. 387.

(3) *Ibidem*, pag. 389.

lieu de fanal, disparut en entier au milieu d'une éruption violente; un lac le remplace aujourd'hui (1) : qu'en 1586 un éboulement analogue, arrivé dans la même île, coûta la vie à dix mille ames (2). Nous devons à M. de Humboldt la connaissance de divers faits du même genre, concernant les terrains volcaniques de l'Amérique : nous avons vu (§. 75) le *Carguairazo* s'écrouler et inonder de boue les contrées voisines : une ancienne tradition veut que le volcan de l'*Altar de los Collanes*, dans le Pérou, dont la hauteur surpassait, dit-on, celle du Chimborazo, après huit ans d'éruptions continuelles, s'affaissa; et ses pics inclinés ne présentent plus aujourd'hui que des traces de destruction. Dans les terrains occupés par les volcans éteints, on voit encore des indices de pareils affaissements, et des lacs que l'on présume être sur l'ancien emplacement des cratères; tel est celui de Laach, près l'abbaye de ce nom, à quelques lieues d'Andernach; tel est encore le petit lac parfaitement circulaire de Paven en Auvergne.

On regarde, en général, les tremblements de terre comme produisant à la surface du globe de bien plus grands changements qu'ils n'en opèrent réellement. Celui de Lisbonne est un des plus forts dont l'histoire conserve

---

(1) Ordinaire, *Histoire naturelle des volcans*, ch. 22.

(2) Ebel, *Ueber den Bau der Erde*, tom. 2, p. 282.

le souvenir, et les trois quarts des églises de cette ville résistèrent à ses secousses, et subsistent encore. Les architectes et les physi-  
ciens croiront-ils que l'inclinaison, et une inclinaison par l'effet d'une brusque secousse, ait été réellement bien forte, orsqu'elle n'a pas porté hors de l'aplomb des fondations le centre de gravité d'un mur élevé, et qu'elle n'en a pas occasioné la chute?

On cite souvent, et bien mal à propos, en preuve des bouleversements que les tremblements de terre peuvent occasioner sur les couches minérales, ceux que la Calabre éprouva en 1785. Examinons les effets qui furent réellement produits par des secousses que Dolomieu met au nombre des plus fortes que les tremblements de terre soient capables de faire ressentir. Nous suivrons la relation que ce géologue, témoin presque oculaire, a donné de ce malheureux événement (1). La Calabre ultérieure, où il eut lieu, est divisée en deux parties: l'une est une plaine qui longe la mer, en face de la Sicile, et qui a environ quinze lieues de long sur sept de large; c'est un dépôt de sable, de galets, d'argile et de débris de coquilles; il est sans liaison ou consistance, et il a une très-grande épaisseur: sur cette base meuble, est établie une couche de terre végétale argi-

---

(1) *Mémoire sur le tremblement de terre de la Calabre.*

leuse d'environ trois pieds d'épaisseur, très-forte, très-tenace, liée en outre par les racines des arbres qu'elle porte; les eaux y ont creusé un grand nombre de gorges, qui ont souvent jusqu'à deux cents mètres de profondeur, et dont les parois sont escarpées et presque verticales : l'autre partie, qui entoure la plaine, est montagneuse et granitique. A la première secousse, en moins de trois minutes, toute la plaine fut bouleversée; presque toutes ses villes et villages furent ruinés de fond en comble, et plus de vingt mille individus ensevelis sous des ruines : son effet fut de tasser le sable; il coula à la manière des laves, dit Dolomieu; il se répandit dans les vallées, il les remplit; il se fit des talus, partout où il y avait des escarpements : la couche de terre végétale, qui se trouvait sans soutien, principalement près des escarpements, et qui faisait corps, s'affaissa, se renversa, glissa jusqu'à des distances considérables, et produisit tous les singuliers et tristes effets décrit par M. Fleuriau de Bellevue (1). « Pendant que la plaine était dé-  
« vouée à une destruction totale, ajoute  
« Dolomieu, les lieux circonvoisins, bâtis  
« sur des hauteurs, et établis sur des bases  
« solides, échappèrent à une pareille des-  
« truction et souffrirent peu. L'explosion

---

(1) *Journal de physique*, tom. 62.

« du 28 Mars fut la plus forte, elle souleva  
 « et ébranla le corps même des montagnes;  
 « cependant les édifices et même les masures  
 « y sont la plupart sur pied. La différence  
 « des effets ne peut avoir pour cause que la  
 « nature du terrain. Dans la plaine, le sol a  
 « manqué; dans les montagnes, au contraire,  
 « quoique l'agitation des surfaces fût consi-  
 « dérable, elle était moins destructive : le  
 « sol, après chaque oscillation, reprenait sa  
 « position, et les édifices conservaient leur  
 « aplomb. » En définitive, je dirai que, si ce  
 terrible tremblement de terre n'a pas laissé  
 pierre sur pierre dans les édifices que l'homme  
 avait élevés sur le sable, il n'a pas dérangé  
 une seule pierre dans l'édifice de la nature,  
 dans les couches formées de roches; ou du  
 moins on n'en cite aucun exemple.

Que l'historien, témoin d'une de ces ter-  
 ribles catastrophes, tout ému du danger au-  
 quel il vient d'échapper, déplorant des pertes  
 cruelles, charge et rembrunisse ses tableaux;  
 qu'il voie et qu'il représente la nature en-  
 tière dans un bouleversement total, on doit  
 s'y attendre : mais si, sans prendre ses expres-  
 sions à la lettre, le géologiste ne tient compte  
 que des faits qui lui sont rapportés et prou-  
 vés, il ne verra guère dans les tremblements  
 de terre que de simples ébranlements, de  
 simples *trépidations* du sol : les masses miné-  
 rales se présenteront à lui dans le même or-

dre, et avec la même solidité qu'auparavant; quelques fentes, quelques affaissements seront les seuls effets géologiques qui en résulteront.

---

Conclusion  
de ce chapitre.

§. 108. Tels sont les effets des agents qui concourent à modifier et à changer l'aspect que la surface de la terre avait immédiatement après sa formation. De ces agents, les uns, tels que les feux souterrains, sont locaux, et ne manifestent leur action que par intervalles; les autres, comme les éléments atmosphériques et les eaux, agissent sur chaque point de cette surface, et ils y agissent sans interruption. De cette différence, il en doit résulter une bien grande dans leurs effets : les premiers, par la manière violente et rapide avec laquelle ils se développent, sont quelquefois terribles pour l'homme, il est vrai; mais leur action sur l'écorce minérale du globe n'est que partielle, et souvent même ce n'est qu'une crise passagère qui ne laisse point de trace : les autres, faibles en apparence, n'agissent que lentement et peu à peu; mais, par l'universalité et la continuité de leur action, ils produisent des effets généraux qui se répètent partout, et qui deviennent immenses avec le temps; c'est un mal qui mine et ronge continuellement le corps qu'il attaque, et qui finit par entraîner infailliblement sa destruction.



Ce sont ces derniers agents qui, constamment aux prises avec la surface du globe terrestre, en abaissent les parties élevées, en comblent les parties basses, et tendent ainsi à la ramener à un même niveau; ce sont eux qui, morcelant les masses et les couches minérales, multiplient et forment les inégalités qu'ils finiront par détruire; ce sont eux qui, en creusant les vallées, les gorges et les ravins, ont taillé, en quelque sorte, les montagnes, et leur ont donné les formes qu'elles présentent aujourd'hui. Et si ce sont les mouvements du fluide dans lequel s'est formée la surface de la terre, ou, plus généralement, si ce sont les circonstances de la formation primitive qui ont esquissé les grands traits des inégalités de la surface terrestre, c'est ensuite l'action continue des agents atmosphériques qui en a dessiné presque tous les détails.

---

## CHAPITRE V.

DE LA STRUCTURE ET DE LA SUPERPOSITION  
DES MASSES MINÉRALES (1).

APRÈS avoir observé l'extérieur du globe terrestre, nous allons porter notre attention sur l'intérieur, et exposer ce que l'observation nous a appris concernant la disposition réciproque des masses qu'il renferme.

Différentes  
sortes de  
structures.

§. 109. Reportons-nous en idée aux premiers moments de la formation de la partie du globe qui nous est connue, c'est-à-dire de la mince écorce qui recouvre notre planète, et dont nous avons à développer ici la structure. A cette époque, la partie du globe déjà existante était comme un noyau entouré d'atomes ou des principes élémentaires des minéraux, dont l'écorce est maintenant composée: nous pouvons nous représenter ces principes comme suspendus dans une vaste dissolution, quelle que fût d'ailleurs sa nature.

---

(1) La structure et la superposition des roches, couches et terrains, est peut-être l'objet le plus important de la géognosie: Werner l'a traité d'une manière aussi neuve que complète, et c'est principalement sa doctrine que je vais exposer dans ce chapitre, en suivant toutefois le mode qui me paraît le plus convenable. Je le répète, j'ai pris de Werner le plan général de ce traité, ses méthodes générales, ou plutôt leur esprit; tout le reste est mon ouvrage.

En obéissant aux lois de l'affinité de composition, ils se sont réunis, ils se sont groupés diversement entre eux, et ils ont ainsi produit les molécules intégrantes des différents minéraux. De là un premier ordre de structure : c'est la *structure chimique*.

Des causes qui nous sont inconnues, ayant occasionné la précipitation de ces molécules, elles se sont successivement déposées, en se réunissant d'après les lois de l'affinité d'aggrégation ; et elles ont formé nos minéraux. De cette seconde espèce, qui est la *structure orictognostique* ou minéralogique proprement dite, dérivent les différentes particularités que les minéraux nous présentent dans leur forme, leur texture et leur cassure.

Enfin, les minéraux ont produit, par leur assemblage, des masses ou *roches*, des *couches* et des *terrains*, dont l'ensemble constitue la croûte solide du globe. La disposition des minéraux dans les masses, celle des masses dans les couches, celle des couches dans les terrains, ou plutôt dans les *formations* qui les sous-divisent, et finalement celle des formations entre elles, constituent la *structure géognostique*. Les détails de sa détermination vont être l'objet de ce chapitre.

§. 110. Avant d'y procéder, fixons d'une manière précise, à l'aide de définitions, le sens de quelques dénominations que nous emploierons fréquemment dans cet ouvrage.

Définitions.

**Minéral.** Nous rappellerons, d'abord, qu'on entend par *minéral*, un corps naturel, inorganique, solide et homogène, c'est-à-dire, composé de molécules intégrantes de même espèce. Par extension, nous le considérons comme homogène, indépendamment de ce qu'il peut être en réalité, lorsqu'à l'aide de nos sens nous ne pouvons plus discerner en lui des molécules de différente espèce.

**Roche.** Par le mot *roche*, nous désignons toute masse minérale d'un grand volume, de manière à ce qu'elle puisse être regardée comme partie essentielle dans l'édifice du globe; soit qu'elle ne présente qu'un seul minéral, comme la pierre calcaire, soit qu'elle en présente plusieurs, comme le granite.

**Couche.** Une couche est une masse minérale, étendue en longueur et en largeur, mais d'une petite épaisseur, relativement aux deux autres dimensions, et qui, sous cette forme plate, fait une des assises d'une montagne, et, en général, d'une portion du globe, quelle que soit d'ailleurs son inclinaison par rapport à l'horizon.

**Formation.** Une formation est un assemblage de couches ou masses minérales, liées entre elles de manière à ne faire qu'un tout ou un système, sans changement ou interruption notable, dans le mode, la nature ou l'époque de la production.

**Terrain.** Le mot *terrain* est souvent pris pour syno-

nyme de *formation*. Cependant, il a une acception plus étendue, et moins précise, surtout en ce qui concerne l'époque de la production : ainsi, on dit quelquefois, le terrain tertiaire de Paris présente cinq formations distinctes. On peut admettre, qu'en géognosie les formations sont les espèces, les terrains seraient alors, et jusqu'à un certain point, les genres.

§. 111. Lorsque nous examinons les diverses roches, nous n'en voyons que peu d'homogènes, c'est-à-dire, formées en entier du même minéral ; la plupart sont composées de minéraux différents et diversement disposés les uns à l'égard des autres. De cette différence dans la disposition des minéraux composants, naît le premier degré de structure géognostique, que Werner nomme *Structur der Gebirgs-gestein* (structure de la pierre de roche), et que nous appelons simplement *structure de la roche*.

Différens  
ordres de  
structure  
géognosti-  
que.

Une masse minérale, ou une couche, telle qu'elle se montre à nos yeux dans la nature, tantôt forme un tout continu, tantôt est partagée en strates, tantôt est divisée en prismes, en plaques ou en boules. De là la *structure des masses ou couches minérales* (*Structur der Gebirgsmasse*).

Les terrains, ou leurs diverses formations, sont quelquefois essentiellement composés de couches de nature différente ; ainsi, le ter-

rain houiller, ou plutôt la grande formation houillère, est un assemblage de couches de grès, d'argile schisteuse et de houille, alternant entre elles. D'autres, dans lesquels on voit dominer les couches d'une même roche, renferment habituellement des couches d'une autre nature. La manière dont les différents terrains sont ainsi composés, constitue la *structure des terrains* ou *des formations* (*Struktur der Gebirge*).

Enfin, les diverses formations, par leur superposition et leur assemblage, constituent la partie du globe accessible à nos observations. Faire connaître l'ordre et les circonstances de cette superposition et de cet assemblage, ce serait faire connaître la *structure de la terre* (*Struktur der Erde*).

La structure du premier ordre, celle des roches, peut se déterminer sur des échantillons de cabinet; celle du second se détermine à l'aspect des grandes masses; la troisième structure nécessite, pour sa détermination, l'examen des diverses parties et de l'ensemble de la formation que l'on considère; enfin, la quatrième exige la connaissance entière de toute la contrée qu'on décrit; et, pour être complète, elle exigerait la connaissance des diverses parties de l'écorce terrestre.

Les considérations générales relatives à ces quatre ordres de structure fourniront la matière des quatre articles de ce chapitre.

ART. I.<sup>er</sup> *Structure des roches.*

§. 112. Je fais connaître les différentes sortes de structure des roches, ainsi que leurs rapports et leurs dépendances, d'après Werner, par le tableau suivant (1).

Différentes  
sortes  
de structure  
dans les ro-  
ches.

I. *Structure simple;*II. *composée :*

A. à parties agglutinées par un ciment de formation postér.,

*fragmentaire;*

B. à parties agrégées les unes aux autres,

1. régulièrement,

a) par agrégation simple,

α) à parties immédiatement agrégées,

*granitique;*

*schisteuse;*

β) à pâte contenant des parties hétérogènes,

aa) à pâte contemporaine,

*porphyrique;*

bb) à pâte antérieure,

*amygdaloïde;*

b) par agrégation double,

*granitique et schisteuse,*

*granitique et porphyrique,*

*schisteuse et porphyrique,*

*porphyrique et amygdaloïde;*

2. irrégulièrement,

*irrégulière.*

(1) M. Brongniart a établi une nouvelle division de la structure des roches dans son *Essai d'une classification minéralogique des roches*, dont il donne en même temps une nouvelle nomenclature. C'est le travail le plus complet qui ait été fait sur cette matière. Nous en profiterons lorsqu'il sera nécessaire d'apporter quelque changement à la nomenclature et à la division wernériennes, que nous continuerons d'ailleurs de suivre, parce qu'elles nous paraissent à peu près suffisantes dans l'état actuel de la science.

Ainsi, et définitivement, les différentes espèces de structure des roches, indépendamment des structures *simple*, *double* et *irrégulière*, sont les structures *fragmentaire*, *granitique*, *schisteuse* composée, *porphyrique* et *amygdaloïde*. Les détails et les exemples que nous allons donner, éclairciront ce que le tableau ci-dessus n'a fait qu'indiquer.

Structure  
simple.

§. 113. Les roches à structure *simple*, n'étant composées que d'un seul minéral, et telles sont, en général, les calcaires, les gypses, les houilles, les phyllades, les quartz, etc., n'ont point, à proprement parler, de structure géognostique : la disposition réciproque de leurs parties, qui constitue leur texture, est du ressort de l'orictognosie ; cependant, sous le rapport de cette texture, le géognoste peut encore les distinguer en *compactes*, *grenues* (1) et *schisteuses*.

Structure  
fragmen-  
taire.

§. 114. Dans les roches à structure *fragmentaire*, ou à *grains agglutinés par un ciment* interposé entre eux, les grains sont des fragmens provenant de la destruction de roches *préexistantes*, lesquels ont été transportés ou charriés par une cause mécanique dans les lieux où on les voit aujourd'hui ; ils y ont été

---

(1) *Karnig abgesonderte Stücke*, ou pièces séparées grenues de l'orictognosie allemande. Il est étonnant que notre minéralogie n'ait pas encore un nom pour désigner une circonstance si importante de la texture des minéraux ; le mot *grenu* n'est point ici assez précis.



ensuite agglutinés par un ciment, ordinairement d'une autre nature, et qui est ainsi de formation *postérieure* à celle des grains ou fragments.

Les roches qui présentent cette structure, sont les grès, les brèches et les poudingues. Dans les grès, les grains sont fort petits ; très-rarement atteignent-ils la grosseur d'un pois, et souvent ils sont d'une petitesse telle que nous avons de la peine à les discerner et à les distinguer les uns des autres, à la vue simple : ils sont tantôt arrondis, tantôt anguleux. Le ciment qui les réunit, est habituellement en moindre quantité qu'eux. Lorsque les grains, en augmentant de grosseur, dépassent celle d'une noisette, par exemple, le grès devient une brèche ou un poudingue : une brèche, si les grains ou masses agglutinées sont des fragments anguleux et à bords aigus ; un poudingue, si les grains ou masses sont arrondies. Nous donnerons l'histoire de ces sortes de roches dans la seconde partie de cet ouvrage.

Dans les roches composées, à *parties agrégées les unes aux autres*, toutes les parties, c'est-à-dire les minéraux divers qui les composent, ont été formées dans le lieu même où on les trouve, et c'est en cela que ces roches diffèrent essentiellement de celles dont il vient d'être question.

Structure  
granitique.

§. 115. Parmi les roches *agrégées*, il en est quelques-unes qui sont formées par l'aggrégation immédiate de minéraux différents, lesquels sont intimement accolés les uns aux autres, et ont en quelque sorte crû en même temps : ils tiennent les uns aux autres, soit par l'effet de l'affinité de cohésion, soit par l'enlacement de leurs parties. Ils ont habituellement la forme de grains ou corps d'un petit volume, et peuvent être regardés comme des cristaux imparfaits, dénués du pourtour polyédrique qu'ils eussent pris, s'ils n'eussent pas été gênés, les uns par les autres, dans leur croissance ou dans leur formation. Les roches de cette classe sont à *structure granitique* : tels sont le granite proprement dit, composé de grains de feldspath et de quartz avec des paillettes de mica ; la diabase formée de grains de feldspath et d'amphibole, etc.

Structure  
schisteuse.

§. 116. La *structure schisteuse* des roches composées de minéraux de diverses espèces, ne diffère de la structure granitique, qu'en ce que les minéraux, plus étendus dans un sens que dans les autres, sont disposés de manière à former des feuillet distincts : on en a un exemple dans le schiste-micacé, lequel consiste en petites plaques de quartz, et en petits feuillet de mica placés les uns sur les autres. Ce dernier minéral paraît être ici, comme dans un grand nombre de roches, la cause de la structure schisteuse : ses pail-

lettes forment, par leur réunion, des feuillets qui, étant interposés entre les autres minéraux, donnent au tout une texture feuilletée.

Les roches à *pâte* contenant des parties hétérogènes renferment, au milieu d'une masse principale, des minéraux isolés d'un petit volume, qui y sont disséminés et comme empâtés : selon qu'ils sont de formation contemporaine à celle de la masse, ou de formation postérieure, les roches sont à *structure porphyrique*, ou à *structure amygdaloïde*.

§. 117. Dans les premières, les minéraux disséminés dans la masse, sont des cristaux tantôt parfaits, tantôt plus ou moins imparfaits, c'est-à-dire plus ou moins oblitérés dans leur pourtour polyédrique ; pour le prendre, il ne leur a manqué que l'espace ou la facilité nécessaire. Ils ont été formés en même temps que la pâte, c'est-à-dire avant qu'elle fût entièrement consolidée ; et ils doivent leur existence à des rapprochements de molécules similaires qui se sont faits au milieu de la masse pendant qu'elle était encore fluide ou molle. Une expérience de Pelletier nous donne une idée exacte de la manière dont peuvent s'effectuer de pareilles formations : ce chimiste prit de la glaise, il la délaya dans une dissolution d'alun, et il en fit une bouillie qu'il plaça dans un lieu tranquille ; au bout de quelque temps il y trouva des cristaux d'alun

Structure  
porphyrique.

d'un volume assez considérable : l'affinité des molécules alumineuses avait été assez forte pour les rapprocher et les réunir en cristaux, malgré la résistance que la ténacité de la pâte opposait à cette réunion.

D'après ce mode de formation, on peut déjà entrevoir que, le plus souvent, les cristaux des roches porphyriques ne seront qu'une réunion des molécules qui dominent dans la pâte, c'est-à-dire qu'ils seront de même nature qu'elle. Ils en seront habituellement la partie la plus pure; car les molécules qui, en cédant à la force de cristallisation, se seront séparées du reste de la masse, y auront abandonné, en très-grande partie, les impuretés dont elles étaient souillées.

Souvent les cristaux sont si imparfaits qu'ils ne paraissent que comme de simples taches au milieu de la pâte. D'autres fois la force d'affinité qui réunit les molécules similaires, au lieu d'en former des corps polyédriques, n'a produit que des masses globuleuses plus ou moins grosses et plus ou moins détachées de la pâte environnante, comme dans les *variolites*. Nous verrons des exemples de ces divers cas en traitant des porphyres et des laves.

Structure  
amygdaloïde.

§. 118. Les roches à structure *amygdaloïde* ne présentent plus, comme les porphyres ou les variolites, au milieu d'une masse principale, des cristaux plus ou moins parfaits,

formés en même temps qu'elle ; mais seulement des noyaux, nœuds ou glandes, le plus souvent sphériques, mais souvent aussi allongés, contournés, quoique toujours arrondis à la surface. Ils se sont vraisemblablement formés, par suite d'infiltrations long-temps répétées, dans des cavités qui existaient au milieu de la roche après son passage à l'état solide : ils sont ainsi de formation *postérieure* à celle de la masse.

Voici comment on peut concevoir ce mode de formation. Pendant que la roche était encore molle ou fluide, soit que la fluidité fût aqueuse, soit qu'elle fût ignée, il s'y sera produit ou dégagé quelques gaz dont les bulles, retenues dans la masse par suite de sa viscosité, y auront formé des cavités tantôt sphériques, tantôt allongées ou sinueuses, et présentant toujours des parois arrondies et lisses. Les eaux, qui pénétrèrent et filtrent à travers plusieurs masses minérales, auront aussi pénétré dans ces roches ; elles s'y seront chargées de quelques-unes des substances qu'elles pouvaient dissoudre, soit directement, soit à l'aide de quelque intermédiaire, et elles les auront déposées, en tout ou en partie, sur les parois des cavités dans lesquelles elles passaient : de là un premier dépôt, une première incrustation sur ces parois ; des dépôts subséquents se seront placés sur les premiers, et très-souvent ils auront fini par

remplir la cavité. La perméabilité des roches, notamment de celles à structure amygdaloïde, semble prouvée par un grand nombre de faits, notamment par certaines agates sphéroïdales et creuses, dans l'intérieur desquelles on voit encore des gouttes d'eau; ainsi que par l'eau qu'on trouve souvent dans les cavités bulleuses des basaltes, etc., comme nous le verrons en traitant de ces roches.

Nous avons observé que les roches porphyriques renfermaient aussi quelquefois des noyaux globuleux. Il n'est pas toujours aisé de les distinguer de ceux des amygdaloïdes: en d'autres termes, lorsqu'on trouve de pareils noyaux dans une roche, il n'est pas toujours facile de décider s'ils sont de formation contemporaine ou postérieure, et par conséquent si la roche est à structure porphyrique ou amygdaloïde. Cependant, dans la plupart des cas, les circonstances accompagnantes pourront mettre à même de prononcer: ainsi, la roche sera une amygdaloïde lorsqu'elle présentera encore des cavités vides.

Les roches à structure amygdaloïde sont assez rares; quelques géologues même les regardent comme étant exclusivement d'origine volcanique. Nous en donnerons divers exemples dans la seconde partie de cet ouvrage: nous nous bornerons à citer ici celles d'Oberstein, dans le pays de Deux-Ponts, qui contiennent, au milieu d'une sorte de trap décomposé, de très-belles géodes d'agate.

Arrêtons-nous un instant sur leur structure et sur leur mode de formation. Elles sont composées de couches successives de calcédoine, de cornaline, de jaspé, de quartz et d'améthiste. La première, qui est d'ordinaire calcédonieuse et la plus épaisse, en se disposant sur les parois de la cavité bulleuse, en a suivi exactement tous les contours; il en est de même de diverses autres couches de cette même substance, qui se distinguent de la première, ainsi que de celles des autres minéraux que nous avons mentionnés, par diverses nuances de couleur et de translucidité. Le quartz et l'améthiste sont le plus souvent vers le centre; et lorsque la géode n'est pas remplie, les couches les plus intérieures appartiennent presque toujours à ces deux derniers minéraux; ils y sont en cristaux dont la pointe est tournée vers le centre, et dont la surface porte quelquefois des cristaux de chaux carbonatée, d'analcime, etc. La disposition des prismes et des pyramides qui forment les parois de la géode, ainsi que celle des couches qui la composent, indiquent que l'accroissement s'est fait de la circonférence au centre et à diverses reprises. La plupart de ces agates présentent à leur surface un espace, ou point, vers lequel toutes les couches, abandonnant leur courbure sphéroïdale, semblent se diriger: c'est, dit Werner, le *point d'infiltration*, comme si le fluide qui a successivement produit, par ses dépôts, toutes les couches, s'était infiltré par cette partie: on peut se convaincre du fait en examinant la nombreuse et belle collection d'agates d'Oberstein qui est au cabinet de minéralogie de l'école des mines à Paris. Au reste, quoique cette circonstance, ainsi que l'accroissement de la circonférence au centre, la perméabilité à l'eau des roches amygdaloïdes, etc.; semblent déposer en faveur du mode d'origine que nous venons d'indiquer, nous n'en conviendrons pas moins qu'il laisse sans une explication satisfaisante, plusieurs circonstances de la formation des géodes, par exemple, l'introduction et la sortie du fluide qui a déposé la couche d'améthiste, ou les cristaux d'analcime, dans un espace circonscrit et fermé par une couche calcédonieuse d'un ou deux pouces d'épaisseur, et où l'on ne voit ni trou ni fente.

Structure  
double.

§. 119. La structure *double* ou surcomposée que présentent certaines roches, provient uniquement de la réunion de deux sortes de structure dans une même masse.

Dans le gneiss, on a un exemple de la structure *granitique et schisteuse*; le feldspath et le quartz y sont en grains agrégés les uns aux autres, ce qui produit la structure granitique: ces agrégats forment habituellement comme de petites plaques, entre lesquelles sont interposés des feuilletts de mica; de là, la structure schisteuse.

Les granites présentent quelquefois, au milieu de leur masse ordinaire, de gros cristaux de feldspath d'une forme bien prononcée, et tout-à-fait différents, dans leur volume et leur pourtour, des grains de la même substance, qui font partie de la masse. Ces roches ont ainsi tout à la fois une structure *granitique et porphyrique*.

Quelques schistes-micacés, contenant de gros grenats, fourniront un exemple de la structure *schisteuse et porphyrique*.

Enfin, quelques roches, telles que les basaltes, contiennent tout à la fois et des cristaux de feldspath, d'augite, etc., de formation contemporaine; et des nœuds de quartz, de zéolithe, etc., de formation postérieure; elles ont ainsi, en même temps, une structure *porphyrique et amygdaloïde*.

Structure  
irrégulière.

§. 120. La structure *irrégulière* est celle



de certaines masses minérales composées de substances réunies et mélangées sans aucun ordre déterminé. Tel est le beau *verde-antico*, mélange absolument irrégulier de calcaire et d'une serpentine à pâte très-fine : tel est le marbre de Campan, mélange de calcaire et de schiste stéatiteux, diversement entrelacés : tels sont la plupart des marbres cipolins qui, dans un calcaire grenu blanc, contiennent des veines, taches et paillettes de talc d'un vert tendre.

§. 121. Nous remarquerons, en finissant cet article, que toutes les masses minérales homogènes qu'on trouve dans la nature reçoivent un nom propre, du moment qu'elles se présentent avec un caractère particulier dans leur composition ou leur essence; de pareilles masses forment alors des minéraux distincts qui rentrent dans le domaine de l'*oryctognosie*. Mais il n'en est plus de même des masses composées : d'abord, pour qu'elles soient regardées comme des roches, il faut qu'elles se trouvent en masses d'un volume considérable (§. 97); mais cela ne suffit pas encore pour qu'elles reçoivent une dénomination spéciale, et pour qu'elles soient inscrites parmi les *espèces de roches* (*Gebirgsarten*), si l'on peut employer ici cette expression : il faut encore qu'elles se présentent fréquemment au géognoste, et même qu'elles portent, dans leur composition ou dans leur

Roches  
auxquelles il  
convient de  
donner un  
nom.

structure, un caractère particulier qui puisse servir à les distinguer et à les faire reconnaître en quelque lieu qu'on les trouve. Dans les cas contraires, la roche est désignée par l'indication de ses minéraux composants et de sa structure, ou par l'indication de ses différences avec des roches déjà dénommées et connues. Cette méthode me paraît plus convenable que celle par laquelle on surchargerait la science et la mémoire de nouveaux noms, sans une nécessité prouvée par l'expérience. C'est ici le cas de dire qu'un nom ne doit être employé que pour éviter une description ou une périphrase qui revient très-souvent dans le discours. Il y a vingt-cinq ans que j'écris sur la géognosie, et à peine y a-t-il quatre ou cinq nouveaux noms de roche, dont j'aie senti la nécessité. Presque tous ceux que je puis avoir introduits ne font que remplacer, comme une simple traduction, quelques noms étrangers qui répugnaient au génie de notre langue, tels que *Grauwacke*, *Grauwackenschiefer*, *Thonschiefer*, *Klingstein*. En résumé, pour qu'une masse minérale soit inscrite comme espèce particulière de roche, et qu'elle reçoive en conséquence un nom particulier, il faut qu'elle se trouve dans la nature en *grands volumes*, *fréquemment*, et avec quelque caractère distinctif.

Je remarquerai que l'espèce d'une roche ne saurait être convenablement déterminée

sur un petit échantillon de cabinet : la considération des masses d'un grand volume est ici absolument nécessaire ; sans cela, on pourrait souvent risquer de regarder comme une diabase, ou comme un gneiss, ce qui ne serait qu'un accident, pour ainsi dire, instantané dans un vrai granite.

ART. 2. *Structure des masses et couches minérales.*

§. 122. Nous entendons ici, par structure des masses minérales, les divisions que plusieurs d'entre elles présentent avec quelque caractère de régularité, lorsqu'on les considère sur une grande surface. Sous ce rapport, on a, Différentes sortes de divisions dans la masse des roches.

1.° Des roches divisées, par des fissures parallèles et d'une grande étendue, en lits ou assises superposées les unes aux autres (*strata super strata*, dans le langage des anciens chimistes) ; ce sont les roches *stratifiées* (1) ;

2.° Des roches traversées par des fissures, qui, ayant une direction constante et déterminée, paraissent dépendre de la nature de la roche, et qui la divisent en *masses prismatiques* ;

---

(1) Dans une acception plus étendue, on dit ordinairement qu'une grande masse de terrain, une montagne, par exemple, est stratifiée, lorsqu'elle est composée de couches de différentes espèces, et par conséquent de roches différentes. Mais, dans cet article, il ne s'agit que de la division d'une même roche par des fissures d'un ordre particulier.

3.<sup>o</sup> Des masses minérales qui présentent une division globuleuse plus ou moins parfaite.

a) *De la stratification.*

Définition. §. 123. *La stratification, d'après ce que nous venons de dire, est la division d'une masse ou couche minérale en lits ou couches d'un ordre inférieur, par des fissures parallèles, étendues, peu distantes, et qui sont une suite du mode de formation. Ces fissures, ou joints, prennent le nom de fissures de stratification; et les parties de la masse comprises entre elles portent celui de strates (1).*

Détermination de la stratification. §. 124. Dans la détermination de la stratification d'une roche, on a à observer : 1.<sup>o</sup> la direction des strates; 2.<sup>o</sup> leur inclinaison; 3.<sup>o</sup> leur épaisseur; 4.<sup>o</sup> les variations dans leur allure, c'est-à-dire dans leur direction et leur inclinaison.

Les strates sont le plus souvent de forme plane ou presque plane : en les considérant comme telles, leur *direction* est celle d'une ligne horizontale menée sur leur plan : assi-

---

(1) Le mot *strate*, dérivé du latin *sternere*, *stratum*, est peu usité dans notre langue; il est employé cependant dans quelques ouvrages modernes de géologie, et il devient absolument indispensable lorsqu'on traite de la stratification. Les Anglais emploient le mot *stratum*, et les Allemands celui de *schichte*. Les strates ne sont pas des couches, mais seulement les parties d'une couche. On pourrait dire que la croûte du globe est composée de *formations*, les formations de *couches*, les couches de *strates*, et souvent les strates de *feuillets*.

gnier leur direction, c'est indiquer le point de l'horizon vers lequel cette ligne se dirige. L'indication se fait à l'aide d'une petite boussole montée dans une boîte carrée, ou garnie d'une monture équivalente, que l'on place contre la couche : l'aiguille aimantée, par suite d'une graduation convenablement disposée, montre le point de l'horizon cherché.

L'*inclinaison* est l'angle que la couche forme avec l'horizon ; on la détermine à l'aide d'un quart de cercle garni d'un fil à plomb : les boussoles des géognostes sont disposées de manière à remplir le même objet. En la prenant il faut noter, outre la grandeur de l'angle, le point de l'horizon vers lequel la couche plonge. Ce point est toujours éloigné d'un quart de circonférence du point de direction, de sorte qu'on peut conclure l'un de l'autre ; ou du moins on peut toujours conclure la direction de l'inclinaison qu'on aurait déjà observée.

L'épaisseur des strates, et par suite celle des couches, se prend, ainsi que l'on sait, perpendiculairement à leur surface, c'est-à-dire perpendiculairement aux fissures de stratification.

Les strates présentent souvent des sinuosités et des ondulations considérables ; de sorte qu'il faut se garder de prendre la *direction partielle* de quelqu'une de leurs parties pour leur *direction générale* celle-ci ne peut

être conclue que de l'ensemble des directions partielles, et lorsqu'elles ont été prises sur des points éloignés les uns des autres. Quelquefois une couche se plie et change définitivement de direction; alors ses deux parties ont chacune une direction particulière. Quant aux couches, très-rares à la vérité, dont la forme est décidément courbe, elles n'ont plus de direction générale. Les mêmes observations doivent être faites relativement à l'inclinaison. L'épaisseur des strates est aussi sujette à beaucoup de variations; elle présente fréquemment soit des diminutions considérables ou *étranglements*, soit de fortes augmentations ou *renflements*. Ces diverses variations en direction, en inclinaison et en épaisseur, forment les diverses circonstances de l'allure des strates et des couches. Le géographe doit tenir note de leur nature, de leur fréquence et de leur grandeur. Nous verrons plus bas les diverses conséquences qu'il peut en déduire.

Caractères  
pour recon-  
naître les fis-  
sures de stra-  
tification.

§. 125. C'est principalement sur les fissures de stratification que se font les déterminations dont nous venons de parler : ainsi, il importe de les bien distinguer et de ne pas les confondre avec des fissures accidentelles qui traversent une roche, en affectant quelquefois un certain parallélisme entre elles. Nous observerons, à ce sujet, que celles qui dépendent de la stratification s'étendent à de grandes distances, en conservant le pa-

rallélisme dans toutes leurs inflexions ; et qu'elles sont en outre parallèles à la *surface de superposition*, c'est-à-dire à la surface qu'on imaginerait entre la masse stratifiée que l'on considère, et celle sur laquelle elle repose : ce dernier parallélisme est le caractère principal ; c'est même le caractère essentiel, lorsque les couches sont dans leur position originale. Voici, en outre, quelques caractères qui pourront aider à reconnaître et à distinguer les vraies fissures de stratification.

1.<sup>o</sup> Lorsqu'un terrain est composé de couches de différentes espèces, la stratification est parallèle aux joints de ces couches.

2.<sup>o</sup> Lorsque quelqueune des strates d'une couche contient des pétrifications ou des fragments particuliers de roche, ou qu'elle est entremêlée de quelque autre substance, la direction et l'inclinaison de l'ensemble de ces pétrifications, ou de ces fragments, ou de cette substance, indiquent le sens de la stratification.

3.<sup>o</sup> Dans les roches à texture schisteuse, telles que les gneiss, les schistes-micacés, les phyllades, la direction des feuillets fera connaître celle de la stratification, ces deux directions étant parallèles. Cette remarque avait déjà été faite par Saussure : il la considérait comme une observation générale et de la plus grande importance. (*Sauss.*, §§. 642 et 2326.)

Il y a cependant quelques roches qui, se divisant quelquefois dans deux sens différents, peuvent jeter dans l'embarras, lorsqu'il s'agit d'en conclure le sens de la stratification. Le phyllade (*Thonschiefer*) présente quelquefois ce double feuilletage, principalement dans les variétés qui se divisent et sous-divisent plutôt en longues esquilles qu'en feuillets : j'en ai vu un exemple dans les phyllades de la Saxe. M. Hausmann en a observé dans ceux de la Norwége : il a encore remarqué une triple division dans un schiste amphibolique près de Kongsberg.

Dans les gneiss et les schistes-micacés, la seule position des paillettes de mica suffit souvent pour faire connaître celle de la stratification ; car ces paillettes sont posées sur leur plat parallèlement aux feuillets, et par conséquent à la stratification.

4.<sup>o</sup> Dans quelques roches à structure porphyrique on a cru remarquer que les cristaux prismatiques y étaient aussi couchés parallèlement à la stratification : cela a lieu, en général, pour les prismes d'amphibole, de tourmaline, de macle, etc., que l'on trouve dans les roches schisteuses ; mais dans une très-grande quantité de blocs de granite porphyrique, que j'ai observés avec soin, dans l'intention de vérifier ce fait, j'ai vu les cristaux de feldspath affecter indistinctement toutes sortes de directions.



§. 126. Il est remarquable de voir certaines espèces de roches se présenter à nous continuellement stratifiées, tandis que d'autres ne le sont jamais ou presque jamais. Jetons un coup d'œil sur les diverses roches considérées sous ce rapport.

Des roches  
stratifiées.

Toutes celles qui composent les terrains secondaires, les calcaires, les grès, les houilles, etc., sont très-distinctement stratifiées. Dans les plus modernes, les couches et leurs strates sont horizontales, minces, et s'étendent à une grande distance, en conservant à peu près la même épaisseur. Dans les terrains de cette même classe, mais plus anciens, par exemple dans certaines formations calcaires, les couches sont plus épaisses et ne présentent pas des signes aussi distincts de stratification; quelques masses gypseuses n'en présentent même point; la position des couches n'est plus aussi plane et aussi horizontale. Ensuite, dans le terrain houiller on trouve une stratification très-distincte, il est vrai, mais les couches y sont souvent plissées et contournées; fréquemment encore elles prennent une position très-inclinée: cependant, encore ici, on remarque quelques rapports entre la forme des couches et la superficie du sol, ou au moins entre cette forme et la surface des couches plus anciennes sur lesquelles elles reposent.

Si nous passons aux terrains intermédiaires et primitifs, nous trouverons un ordre de choses entièrement différent de ce que nous ont présenté les formations secondaires récentes. Les roches y sont de deux classes : les unes, telles que le gneiss, le schiste-micacé, le phyllade, etc., sont très-distinctement stratifiées ; elles le sont jusque dans leurs derniers éléments, ainsi que nous l'avons déjà remarqué : mais les autres, telles que les granites, les porphyres, les diabases, les calcaires purs, les gypses, les serpentines, les quartz, etc., ne portent point ou presque point d'indices de stratification. Les couches et les strates n'ont plus, dans les terrains primitifs, la même suite et la même uniformité que dans les secondaires ; elles passent aisément des unes aux autres, en changeant graduellement de nature ; et leur position, qui est sujette d'ailleurs à de grandes variations, se rapproche plus souvent de la verticale que de l'horizontale, tant dans les plaines que dans les montagnes. Cette position, comme la forme, devient tout-à-fait indépendante de la forme du sol et de ses inégalités.

Werner, ainsi que Saussure et un grand nombre de naturalistes, admettait la stratification sensible ou faiblement sensible du granite et de la plupart des roches que nous avons rangées dans la classe des non-stratifiées, en observant que la grande épaisseur

des strates empêchait souvent de les distinguer.

Les géologues ont été très-divisés d'opinions sur la stratification de diverses roches, et particulièrement sur celle du granite : nous donnerons quelques détails à ce sujet dans la seconde partie. On attachait une grande importance à cette question, à cause des conséquences qu'on voulait en déduire sur l'origine de cette roche, qui était alors regardée comme servant exclusivement de base et de support à la mince écorce stratifiée composée des autres roches ; la forme par strates ou couches rappelant toujours l'idée de sédiments, ou de précipités, opérés dans un fluide aqueux. Mais, dans l'état actuel de nos connaissances, cette question est sans intérêt, au moins sous le même rapport : le granite alterne, par couches, avec d'autres roches, et il a incontestablement la même origine qu'elles. Quoique je n'aie pas vu de grande masse d'un vrai granite réellement stratifiée, c'est-à-dire soudivisée en strates, je n'en ai pas moins vu, entre Rosswein et Meissen en Saxe, une couche horizontale d'un beau granite rouge, d'un à deux pieds d'épaisseur, placée entre des couches de schiste phylladique (*Thonschiefer* ou *Grünsteinschiefer*).

§. 127. Quelle est donc la cause de la stratification des roches, et des diverses circonstances qu'elle présente? Je ne crois pas que nous soyons encore en état de répondre à cette question d'une manière générale et positive.

Observations sur les causes de la stratification.

Lorsque nous examinons la coupe d'un de nos derniers terrains secondaires, tels sont ceux des environs de Paris; que nous les voyons composés de couches de calcaire, de gypse, de marne et d'argile, alternant diversement entre elles, de forme généralement

plane, s'étendre horizontalement à de grandes distances en conservant à peu près la même épaisseur, il est impossible de ne pas voir que toutes ces couches sont des dépôts placés successivement les uns sur les autres; et rien de plus naturel et de plus facile à expliquer que les joints ou fissures qui séparent ces diverses couches. Lorsque nous voyons également, dans un terrain houiller, les couches de houille, de grès et d'argile schisteuse, suivre toutes les inégalités et tous les contours du bassin qui les renferme, baisser et se relever selon que le fond de ce bassin baisse ou se relève, il est impossible de ne pas reconnaître en elles des dépôts successifs qui se sont formés et moulés les uns sur les autres. Rien n'est plus aisé à concevoir et à expliquer que la stratification en grand de ces terrains, et les circonstances qu'elle présente.

Si nous passons à la stratification proprement dite, à celle des couches elles-mêmes; en examinant une couche d'argile, par exemple, divisée en strates qui diffèrent entre elles ou par une nuance de couleur, ou par une différence dans la dureté, due quelquefois à une petite quantité de silice; en examinant une couche de grès divisée en strates différentes par la grosseur du grain; en voyant une couche de houille divisée en deux ou trois strates par des *nerfs* ou masses pierreuses, encore ici toutes ces strates paraî-

tront évidemment des dépôts successifs : on sera porté à penser que, lorsqu'ils se sont faits, il s'est souvent écoulé un intervalle de temps notable entre chacun d'eux; que l'un était déjà plus ou moins consolidé, lorsque l'autre s'est déposé, et qu'ainsi les joints qui les séparent, c'est-à-dire les fissures de la stratification, doivent être bien distinctes.

Mais allant plus avant; si nous voyons une couche d'argile ou de houille, en se divisant toujours dans le même sens, finir par ne plus donner que des feuillets, nous ne pourrons plus regarder chacun d'eux comme un dépôt successif, et leurs joints comme l'effet d'un laps de temps écoulé entre leur formation : cette division tiendra principalement à la nature de la roche; et cependant elle a de grands rapports avec la stratification, elle paraît y faire suite; car il est souvent bien difficile de tracer une démarcation entre les joints des strates et ceux des feuillets.

Passons aux terrains primitifs. Lorsque nous verrons, dans une montagne de schiste-micacé, une couche d'un beau calcaire blanc, ayant quelques mètres d'épaisseur, se prolonger à plus de mille mètres de distance, recouverte par une couche de schiste-chlorite, contenant du fer oxidulé, ainsi que je l'ai vu à Planaval, dans le pays d'Aoste, il sera encore évident que ces couches sont des dépôts ou des précipités successifs. Mais d'où

vient que la couche calcaire n'est point stratifiée comme celle de schiste-chlorite? L'une n'est-elle qu'un seul dépôt ou un précipité opéré tout à la fois? et l'autre est-elle une suite de dépôts formés par la précipitation successive des molécules chloritiques? Ce n'est pas vraisemblable, et l'on est obligé de reconnaître dans la stratification du schiste un effet dépendant de sa nature. Les feuillets des schistes ne sont pas dus à des précipités successifs; cela est évident. Lorsque, dans une couche de gneiss, on voit un gros cristal de tourmaline détourner plusieurs feuillets et peut-être même les couper, et lorsque, dans un schiste-micacé, on voit un gros nœud de quartz autour duquel se plient les feuillets de mica, il est clair que ce cristal et ce nœud ne se sont pas formés, de la même manière qu'un octaèdre d'alun dans un cristalliseur, par une addition successive de molécules qui se précipitent de la dissolution contenue dans le vase; ils se sont évidemment formés de la même manière que nous avons dit que se produisaient les cristaux dans les roches porphyriques (§. 117). D'où l'on conclut que la masse ou la couche a été déposée, à l'état de mollesse, toute à la fois, au moins sur un assez grand volume, et qu'en passant, par cristallisation, à l'état solide, elle a pris la texture schisteuse, et par suite la forme stratifiée, qui est dans une étroite connexité avec cette texture.

Si la force de cristallisation avait beaucoup d'intensité, comme dans les roches éminemment cristallines, il serait alors très possible qu'elle mît, jusqu'à un certain point, obstacle à la séparation des feuilletés, et, par conséquent, à l'apparence stratifiée.

Ce serait donc par suite de leur essence et des circonstances de leur cristallisation, que le calcaire grenu pur, le granite, etc., ne se présenteraient pas divisés en strates, tandis que les schistes, les gneiss, etc., se montrent tels.

J'observerai, à ce sujet, que la présence du mica, dans les roches, paraît avoir une grande influence sur leur stratification, comme sur leur texture schisteuse. Le granite, en se chargeant de mica, passe au gneiss et devient stratifié. Lorsque ce minéral se mêle, en petite quantité, dans les couches calcaires ou dans celles de quartz, il leur donne une tendance à la stratification, et il les rend même stratifiées, s'il s'y trouve en quantité notable. J'ai souvent vu des masses de ces roches qui ne présentaient aucun indice de division dans les parties où elles étaient pures, mais qui se divisaient en plaques dans celles où l'on voyait un peu de mica : il y était en paillettes couchées à plat dans les joints des feuilletés, et quelquefois il s'y trouvait en si petite quantité, que les paillettes, loin de former un tout continu, étaient assez dis-

tantes les unes des autres : leur direction dans une même rangée n'en indiquait pas moins celle des strates.

D'après ce que nous venons de dire, la stratification, au moins dans un grand nombre de roches, ne serait qu'un effet dépendant de leur nature, et ne proviendrait point de la manière que la roche a pu être formée ou déposée : le granite a été bien certainement formé et déposé comme le gneiss qui lui est adjacent, et auquel il passe ; cependant celui-ci est stratifié et l'autre ne l'est pas.

*b) Division prismatique.*

Des fissures, autres que celles de la stratification, en traversant les roches dans une direction constante, parallèlement à différents plans, les divisent en polyèdres presque toujours prismatiques, le plus souvent de forme à peu près *rectangulaire*, et quelquefois en *prismes* ordinaires; leur hauteur est, dans certains cas, si petite, qu'il en résulte de simples *plaques*.

Division en  
rectangles.

§. 128. La division en masses rectangulaires, ou, pour parler un langage plus exact, en parallélipèdes rectangles, est assez commune dans les roches secondaires à couches horizontales; elle est produite par des fissures dans deux sens perpendiculaires entre eux, et perpendiculaires en même temps aux fissures de la stratification.



Elle se remarque principalement dans les grès; elle y donne lieu à des masses rectangulaires de toutes les dimensions. J'en ai vues, dans les belles vallées de Pirna et de Schandau, en Saxe, qui avaient jusqu'à quarante mètres de côté: elles étaient quelquefois un peu arrondies sur les arêtes, ce qui rendait les fissures encore plus distinctes; et les montagnes y présentaient, sur une très-grande échelle, l'image de ces tas de gros ballots rectangulaires que l'on voit quelquefois dans les magasins des villes de commerce. Saussure a observé cette même division dans un grand nombre de grès des Alpes; auprès du Chapiu, dans la Tarentaise, il en a vu qui étaient si régulièrement divisés qu'on les employait comme pierres de taille dans la construction des chalets voisins; elles étaient d'une forme très-régulière, et la nature avait fait, dit-il, tous les frais de la taille. M. Ramond a observé également, au pied méridional du Mont-Perdu, des grès divisés, par des fissures verticales, en masses dont la forme approchait plus ou moins de celle de parallépipède rectangle.

Quelques calcaires, les houilles et quelques autres roches qui tendent naturellement à se diviser en fragments cubiques, présentent, en petit, un fait du même genre.

Saussure indique deux causes de cette division, ou plutôt de la formation des fissures

qui la produisent : 1.<sup>o</sup> l'affaissement successif des couches, opéré par quelque mouvement ou par quelque manque dans la base qui leur sert de soutien ; 2.<sup>o</sup> une retraite, qui a en lieu lors du dessèchement ou de la consolidation de la roche. C'est principalement à la première qu'il attribue la division en très-grandes masses observée dans les grès. Mais il semble, d'un autre côté, que c'est à une retraite générale de la matière, opérée avant son entière consolidation, combinée peut-être avec une attraction moléculaire, que l'on doit attribuer la division, ou plutôt la tendance à se déliter en cubes, qu'on remarque dans quelques substances, et qui, par ses subdivisions, semble descendre jusqu'à l'infiniment petit. Le retrait doit produire, dans une masse qui l'éprouve, des fentes ou fissures ; et, par suite de la ténacité de la matière, ces fissures, une fois commencées, doivent se propager en ligne droite jusqu'à une certaine distance : d'après cela, et en considérant que la contraction tend à raccourcir les trois dimensions, on concevra comment elle doit produire une division qui approche plus du cube que de toute autre figure.

Division  
prismatique.

§. 129. La division en prismes, que présentent certaines roches, sera encore un effet du retrait de leur substance.

Le basalte est de toutes les masses minérales celle qui la montre de la manière la

plus caractérisée. Ses prismes sont indistinctement à trois, quatre, cinq, six, sept, huit, etc., pans. J'ai cependant observé que, plus leur pâte est fine et compacte, plus ils approchent du prisme hexagone régulier. Leur base supérieure est assez généralement perpendiculaire à l'axe, et ils tiennent souvent, par leur partie inférieure, à une masse basaltique faisant un tout continu. Leur hauteur va quelquefois à plus de cent et deux cents mètres, mais d'autres fois elle n'est que de quelques pouces. En général, on dit qu'ils sont grands, lorsqu'ils ont une dizaine de mètres de long, et un demi-mètre d'épaisseur.

Leur position la plus ordinaire est verticale, et un assemblage de prismes ainsi posés présente l'aspect de colonnes prismatiques dressées les unes contre les autres. C'est ainsi qu'ils forment les fameuses colonnades basaltiques que l'on voit en plusieurs endroits du Vivarais, de l'Auvergne, de la Saxe, de l'Irlande; etc.; une de celles de ce dernier pays est particulièrement célèbre sous le nom de *Chaussée des géants* (1). Quelquefois les prismes sont horizontaux, placés et empilés les uns sur les autres, comme des bûches dans un chantier. D'autres fois ils vont en diver-

---

(1) Voyez les dessins d'un grand nombre de ces colonnades dans les ouvrages de M. Faujas, et dans l'atlas des *Institutions géologiques*, par M. Breislak.

geant, comme autant de rayons autour d'un centre; ils forment ainsi une portion de sphère, et quelquefois même une sphère entière. Ailleurs je les ai vus courbés, disposés et pliés, de part et d'autre d'une ligne verticale, exactement comme les feuilles le sont dans une branche de palmier.

Ils sont très-souvent traversés par des fissures perpendiculaires à leur axe, et qui les divisent en tronçons, et même en dalles, lorsqu'elles sont très-rapprochées. Quelquefois ces fissures sont convexes, et alors une extrémité d'un des tronçons offre une convexité qui s'emboîte dans la concavité de l'extrémité adjacente du tronçon voisin : il en résulte des *prismes articulés*.

Les laves à base de phonolite, et même de trachyte, présentent souvent aussi des divisions prismatiques. Quelques naturalistes, les voyant si fréquemment dans les produits des volcans, les regardent comme un de leurs attributs exclusifs. Mais on les retrouve encore dans les autres classes de roches : MM. de Humboldt, Jameson, Reuss, etc., ont vu des granites divisés en prismes : j'ai remarqué une pareille division dans des porphyres euritiques que la Saxe renferme au milieu de ses gneiss : elle se montre, d'une manière frappante, dans quelques carrières de gypse à Montmartre, près de Paris. Aux mines de Northwich, en Angleterre, des masses de sel

gemme la présentent avec une telle perfection, qu'en marchant sur le sol, dans un endroit où il est formé par la tête des masses prismatiques, M. Pictet croyait être sûr un pavé à carreaux hexagones, comme on croit y être lorsqu'on marche sur la Chaussée des géants d'Irlande.

Les fissures qui produisent la division prismatique, ne s'étendent pas toujours à une grande distance, et elles n'existent souvent que dans une partie de la masse basaltique ou porphyrique; de sorte que cette masse est ainsi divisée en prismes dans une portion de son étendue, et qu'elle forme un tout continu dans l'autre. Souvent encore elles ont, dans une partie du même bloc, une direction autre que dans la partie voisine; alors le bloc présente différents groupes de prismes, et dans chaque groupe les prismes ont une direction différente. Quelquefois enfin une des fissures, cause de la division prismatique, se dérange de la direction première, et les prismes qu'elle concourt à produire après sa déviation n'ont plus la même régularité qu'avant.

La cause qui a occasioné ces diverses fissures, ainsi que nous l'avons dit, est, sans aucun doute, le retrait qu'a éprouvé la masse basaltique, ou porphyrique, ou gypseuse, etc., soit en se refroidissant, soit en se desséchant. Ce phénomène a quelque analogie avec

les retraits et les gerçures que nous voyons journellement se produire dans les glaises et dans les limons qui se dessèchent. Mais quelle est la cause qui a déterminé les fissures à se faire dans des directions telles qu'il en résulte une division en prismes réguliers? car, je le répète, c'est autour de l'hexagone régulier que se font les oscillations. Il serait difficile de le dire positivement; et je me bornerai à observer que, si, dans les houilles et dans certaines roches stratifiées, la retraite devait occasioner la forme cubique (§. 128), dans les roches non stratifiées, ou dans celles qu'une cause empêche de se diviser aisément dans le sens horizontal, elle doit produire de préférence la forme prismatique hexagone: de tous les polygones réguliers qu'on peut adapter les uns aux autres, en forme de carrellement, sans qu'il reste de vide, l'hexagone régulier est celui qui, sous le même périmètre, présente la plus grande surface. Je remarquerai encore qu'ici, comme dans les houilles et les roches qui se brisent en cubes, la division se continue de fragment en fragment, c'est-à-dire qu'on a des prismes qui se divisent et subdivisent, par la cassure, en prismes de même forme.

Division  
en plaques.

§. 130. La division en plaques n'est qu'un cas particulier de la division prismatique: c'est le plus simple et celui qui se présente le plus généralement. Les fissures qui l'ont

produite sont toutes parallèles à un même plan, au lieu de l'être à plusieurs. Elles sont ordinairement de peu d'étendue; quelquefois elles changent brusquement de direction, et elles divisent alors la masse en plusieurs groupes ou systèmes de plaques diversement dirigées dans chacun d'eux. Quoique le peu de longueur, le brusque changement de direction, la forme entièrement plane et non ondulée, ainsi que les caractères que nous avons signalés au §. 125, servent à distinguer ces fissures de celles de la stratification, je crains que, dans quelques cas, elles n'aient été prises les unes pour les autres, et qu'on n'ait donné comme stratifiés quelques granites, par exemple, qui n'étaient que divisés en plaques.

Le basalte montre quelquefois aussi cette division; et Werner remarque que dans certaines masses de cette roche on trouve tous les modes de structure réunis et renfermés les uns dans les autres : ces masses se divisent en prismes, les prismes en boules, les boules en couches concentriques, les couches concentriques en *pièces séparées grenues*. Nous allons voir ce qu'est en réalité cette structure du basalte en boules à couches concentriques.

### c) *Division en masses globuleuses.*

Le règne minéral présente un grand nombre de corps de forme globuleuse : quelquefois ce sont des sphères parfaites, plus souvent des sphéroïdes plus ou moins irréguliers, et, plus souvent encore, des corps comme

composés de portions ou de segments de ces sphéroïdes, et se présentant sous forme de masses tuberculeuses. L'étude de la structure des uns et des autres est d'un grand intérêt en géologie, par les lumières qu'elle répand sur diverses circonstances de la formation des minéraux.

Structure  
globuleuse.  
dans les ro-  
ches cris-  
tallines.

§. 131. Examinons d'abord cette structure dans les masses qui nous la présentent de la manière la mieux caractérisée, et, en premier lieu, dans la plus belle comme la plus instructive des roches, la diabase globulaire, communément dite *granite globuleux de Corse* : nous y verrons ce que peut la force d'affinité pour rapprocher et écarter, suivant certaines lois, les différentes molécules minérales, les porter exactement sur une même ligne, ou à une même distance, de manière à produire des corps d'une régularité, ou d'une symétrie vraiment remarquable. Cette roche, qui forme une couche ou masse dans un terrain de granite, est composée d'amphibole d'un vert foncé et de feldspath blanc mêlé de quelques petits grains de quartz. Sa masse est parsemée de sphéroïdes, dont la grandeur est quelquefois de moins d'un pouce, mais d'autres fois de trois pouces; ils sont formés de couches concentriques de feldspath et d'amphibole : tantôt ils se touchent immédiatement, tantôt ils sont à quelques pouces les uns des autres. Dans les mêmes



parties du rocher, ils observent, d'une manière remarquable, la même grosseur, la même structure et la même distance; mais, d'une partie à l'autre, il y a des différences à cet égard, ce qui donne lieu aux diverses variétés qu'on en voit dans les cabinets.

J'en décris une. — Les globules s'y touchent immédiatement; ils semblent se comprimer, ce qui leur donne une forme un peu allongée; ils ont de un à deux pouces de large, sur deux ou trois de long. Le milieu, dans chacun, sur un diamètre de sept à huit lignes, est formé de grains d'amphibole et de feldspath, à peu près comme dans les roches granitiques, mais montrant cependant une tendance à se disposer en couches concentriques; autour de ce noyau on a successivement les couches suivantes: 1.<sup>o</sup> une couche de deux lignes d'épaisseur, de feldspath blanc, tantôt compacte, tantôt à lames, ou plutôt à languettes convergentes vers le centre; 2.<sup>o</sup> une couche amphibolique, extrêmement mince, et dont la coupe se présente comme une ligne très-déliée; 3.<sup>o</sup> une nouvelle couche de feldspath, pareille à celle susmentionnée, mais d'une ligne d'épaisseur seulement; 4.<sup>o</sup> une couche amphibolique, d'un vert grisâtre, ayant l'aspect d'un assemblage de très-petites paillettes de chlorite, et ayant une ligne d'épaisseur; 5.<sup>o</sup> enfin, une couche feldspathique pareille aux précédentes, épaisse de trois lignes, quelquefois divisée en deux par une couche amphibolique semblable à celle du n.<sup>o</sup> 2: entre les languettes de feldspath, on a parfois quelques rayons d'amphibole dirigés vers le centre. Tous les globules, sur une étendue assez considérable, sont exactement composés des mêmes couches, placés dans le même ordre, et sans différence sensible dans leur épaisseur respective.

En voyant la surface de la couche extrême de chaque globule bien nettement terminée, ainsi que sa forme quelquefois un peu angu-

leuse, on serait tenté de penser que, lors de la formation du globule, c'est elle qui s'est décidée et consolidée la première, et que l'arrangement des autres couches s'est fait ensuite; mais, ce qui est positif, c'est que la couche extérieure est celle dont la structure est la plus régulière, et que le centre est ce qu'il y a de plus confus. Le même fait se remarque dans un très-grand nombre de formations globuleuses. La masse qui est entre les globules, consiste en amphibole d'un vert noirâtre, à gros grains bien lamelleux, et entremêlés de grains moins gros de feldspath : on y voit aussi quelques points pyriteux.

La Corse nous fournit un porphyre qui est encore remarquable par la structure des globules qu'il renferme. Sa masse est homogène, euritique, d'un rouge brun, et présente comme des taches d'une couleur plus foncée, qui se groupent principalement autour des globules. Ceux-ci sont en général sphériques; tantôt ils n'ont que quelques lignes de diamètre, tantôt ils ont trois ou quatre pouces : ils sont formés de petits fuseaux ou parties lenticulaires de feldspath, placés dans la direction du centre à la circonférence, et séparés par de minces cloisons de quartz : ils contiennent encore quelques petits noyaux radiés du même minéral ; le tout est entouré d'une couche de feldspath, entremêlée de points quartzeux. Quelques globules même ne sont composés

que de pareilles couches. Cette roche est une sorte de variolite (§. 117), qui ne diffère des variolites ordinaires, qu'en ce que dans celles-ci le globule n'est formé que par un seul minéral; dans celles de la Durance, il l'est par du feldspath, lequel s'y trouve encore disposé en rayons convergents vers le centre.

Les roches simples, telles que les calcaires, présentent aussi quelquefois une structure globuleuse pareille à celles dont nous venons de parler. Le plus exact comme le plus judicieux des observateurs en a consigné, dans ses ouvrages, un exemple extrêmement remarquable, pris des environs d'Hières, en Provence; c'est un grand rocher, et même *une montagne entière* composée de boules de spath calcaire. « En montant à sa cime, dit « Saussure (1), je remarquai, dans le roc calcaire, un hémisphère de quinze à dix-huit « pouces de diamètre, composé en entier de « spath calcaire disposé par couches concentriques, et chacune de ces couches formée « par un assemblage d'aiguilles convergentes « vers le centre de la masse. Je crus d'abord « que cela était accidentel; mais, en continuant de monter, je vis, avec bien de la « surprise, que toute la montagne, jusqu'à

---

(1) §. 1478. Ma prédilection pour Saussure, comme observateur, logicien et écrivain, me portera souvent à citer textuellement plusieurs passages de ses ouvrages; on ne saurait mieux voir, mieux raisonner, et écrire avec plus de clarté.

« sa cime, est composée de boules de spath  
« dont la structure est à peu près la même.  
« Leur volume diffère : les plus grandes ont  
« deux ou trois pieds de diamètre ; les plus  
« petites, deux à trois pouces. On en voit  
« aussi d'une forme alongée ; mais toujours  
« les couches sont concentriques, et compo-  
« sées de parties convergentes au centre ou  
« à l'axe de la masse. Quelquefois encore  
« ces couches, quoique concentriques, sont  
« onduyantes ou festonnées. Souvent ces  
« boules, grandes et petites, s'entremêlent  
« et se groupent sous des formes bizarres ; et  
« cependant l'ensemble de ces boules est  
« disposé par couches assez régulières et peu  
« inclinées. La substance du spath qui forme  
« les boules, est jaune de miel, ou blanc jau-  
« nâtre, translucide, et son grain est très-  
« brillant. Les interstices des boules sont  
« remplis d'une matière moins dure, sou-  
« vent caverneuse, et d'un tissu plus gros-  
« sier, mais dont la nature est essentielle-  
« ment la même. » Voilà, sur la plus grande  
échelle qui me soit connue, toutes les cir-  
constances des formations globuleuses que  
nous présentent si souvent plusieurs substan-  
ces minérales homogènes.

Nous pouvons nous faire une idée de la  
manière dont ces formations peuvent se pro-  
duire, en jetant les yeux sur des faits qui se  
passent journellement dans nos laboratoires,

ainsi que dans ceux où la nature produit encore. Lorsque, dans les verreries, on laisse refroidir lentement la masse vitreuse en fusion, elle se forme souvent en groupes de globules, à rayons divergents coupés par des couches concentriques, et qui se pénètrent les uns les autres : ce sont les *cristallites* observées par M. Fleuriau de Bellevue. MM. Hall et Watt, dans leurs belles expériences sur les masses minérales fondues, ont vu se former, au milieu d'elles, dans certaines circonstances de leur passage à l'état solide, des boules striées du centre à la circonférence; quelques laves, dans leur refroidissement, présentent des faits semblables, ainsi que nous le verrons dans la seconde partie de cet ouvrage. La voie humide produit aussi des formes pareilles, comme on le voit dans un grand nombre de concrétions calcaires.

Remarquons ici que dans les productions de l'art, comme dans celles de la nature, lorsque les globules se trouvent isolés dans une masse, ils sont assez exactement sphériques, et composés de couches concentriques à rayons convergents; mais, lorsque des globules voisins viennent à se joindre et à se pénétrer, ils forment des masses tuberculeuses, vrais assemblages de parties sphéroïdales. Chacune d'elles conservant sa structure, la masse se trouve divisée en couches parallèles à sa superficie, et radiées perpendiculairement à

leurs surfaces : ce qui constitue la structure *testacée* ; les hématites, les malachites, etc., sans avoir exactement le mode de formation des roches dont nous venons de parler, offrent des exemples de cette structure.

Werner ne traite d'autres divisions globuleuses, que de la division en boules, que présentent quelquefois les granites, les basaltes, etc. Il pense qu'elle est la suite d'un mode de formation à peu près pareil à celui dont nous venons de parler. Il dira, par exemple, que, lors de la formation ou de la consolidation de certains granites, il s'est établi, dans la masse granitique, divers centres d'action, autour desquels la matière s'est disposée en couches concentriques, qui vont en diminuant de dureté et de solidité à mesure qu'elles s'éloignent du centre, lequel est ainsi la partie la plus dure et la plus solide ; et que l'intervalle entre les boules est rempli par un granite d'un tissu très-lâche. M. de Charpentier manifeste la même opinion, lorsqu'il cite un granite qu'il a observé dans les Pyrénées, sur le sommet d'une montagne, et qui consiste en masses irrégulièrement sphéroïdales, ayant jusqu'à deux pieds d'épaisseur. Les espaces compris entre elles, dit-il, sont remplis d'un granite moins solide et plus prompt à se décomposer : ce mode de formation, ajoute cet habile minéralogiste, me paraît assez analogue à celui du porphyre globuleux de Corse (1). Quant à moi, je suis très-enclin à croire que la forme de ces boules de granite observées à la superficie d'une montagne, n'est qu'un simple effet de l'action décomposante de l'atmosphère (2). Cette action aura pénétré dans la masse granitique, elle en aura relâché ou détruit le tissu ; des portions plus dures et d'un volume quelquefois assez consi-

(1) *Journal des mines*, tom. 33.

(2) M. Mac Culloch concilie les deux opinions, et tout en insistant sur les effets de la décomposition, il pense que la forme des boules et des blocs arrondis de granite est aussi une suite de la formation originaire. *On the granite Tors of Cornwall.*

dérable, y auront plus résisté : elles auront cependant ressenti son influence ; leurs angles et leurs arêtes , offrant plus de prise , auront été abattus , et ces portions dures se seront arrondies. La décomposition , agissant en outre sur leur surface , en aura aussi relâché le tissu , et l'aura ainsi détaché du reste de la boule ; de là , une première couche concentrique : pénétrant ensuite plus avant , et comme par degrés , elle donnera naissance à une seconde , à une troisième , etc. , couche ; en un mot , elle produira sur la boule une écorce altérée à couches concentriques , dont le tissu sera naturellement d'autant plus lâche qu'elles seront plus près de la superficie. Quant à l'intérieur , partout où la décomposition n'aura point pénétré , il n'y aura qu'une masse solide , continue et sans la moindre apparence de division en couches : j'ai eu occasion de m'en convaincre un grand nombre de fois. En traitant des granites , des diabases , des basaltes , des grès , je donnerai plusieurs exemples de cette division en boules , et l'on y verra combien l'action décomposante de l'atmosphère peut se faire sentir bien avant dans l'intérieur des masses minérales , sans détruire et même sans altérer considérablement leur superficie.

§. 132. Les formations globuleuses , de première origine , se retrouvent encore dans les roches et les minéraux qui ne se présentent plus sous l'aspect cristallin , et dont la cassure est compacte.

Structure  
globuleuse  
dans les ro-  
ches compac-  
tes.

Les oolites , qui existent en si grande abondance dans quelques terrains secondaires , en sont un exemple : tous les minéralogistes connaissent celles qui , semblables à des grains de chanvre , sont , dans les marnes , subordonnées au grès (bigarré) de la Thuringe. Ces petits globules se seront produits autour d'autant de centres d'attraction , par la réunion et le groupement des molécules calcaires conte-

nues dans la masse marneuse; elles y auront laissé les parties hétérogènes, et formeront au milieu d'elles des grains plus purs. Quelquefois toutes les molécules d'une couche calcaire se grouperont ainsi en globules; et la couche ne paraîtra plus que comme un composé de petits grains ronds, sans ciment intermédiaire, et presque sans adhérence les uns aux autres. J'ai vu un exemple de ce fait près de Mortagne: une couche de près d'un pied d'épaisseur y présentait l'aspect d'un de ces grands amas de grains d'anis qu'on voit dans les magasins des confiseurs. Saussure en a observé de pareilles sur le Salève, sur la Dôle, etc. Les grains oolithiques sont ordinairement compactes; mais souvent aussi on y découvre des indices de couches concentriques, et même de rayons dirigés vers le centre. Quelquefois le centre est occupé par un fragment de coquillage; c'est autour de ce corps étranger que la cristallisation, ou plutôt le groupement des molécules s'est opéré. Ce fait se voit assez fréquemment dans le Jura, où les grains ont jusqu'à un pouce et plus de diamètre. (*Sauss.*, 359.)

Souvent les masses globuleuses sont d'une nature entièrement différente de celle de la roche au milieu de laquelle elles se trouvent. C'est ainsi que, dans des calcaires de la Bavière, on voit des boules parfaitement sphériques et à couches concentriques de silice.



corné (*hornstein* concoïde de Werner) : elles sont très-vraisemblablement dues à la réunion des molécules siliceuses qui étaient disséminées dans la masse calcaire encore molle ou fluide; cédant à leur force attractive, elles se seront groupées, et comme pelotonnées autour d'un centre. Si le groupement n'avait pu se faire d'une manière aussi parfaite, ou qu'il s'en fût opéré plusieurs et autour de différents centres voisins, il en serait résulté des masses tuberculeuses. Telle est probablement l'origine de la plupart des tubercules et rognons de silex-pyromaque que l'on trouve en si grande abondance dans les craies et dans quelques terrains calcaires.

Enfin, nous aurons un exemple des formations globuleuses, jusque dans les dernières époques des productions minérales, dans le *fer hydraté en grains* des terrains tertiaires et de transport. Il s'y trouve, soit en grains isolés comme des pois, des lentilles, etc., soit en masses ou bancs composés de grains sphériques, à couches concentriques, tantôt parfaits, tantôt ne présentant qu'une première ébauche, et quelquefois même dans une petite partie de leur pourtour seulement. Mais ce que ces grains, évidemment formés au milieu de la masse ferrugineuse, par suite d'un mouvement intestin, présentent de plus remarquable, c'est que les couches sont d'autant plus compactes qu'elles sont plus éloi-

gnées du centre, et que l'intérieur n'est très-souvent rempli que d'une petite quantité d'ocre, ou même qu'il est entièrement vide. Les géodes de la même substance, qu'on trouve isolées dans les mêmes terrains, et qui ont quelquefois jusqu'à un pied de diamètre, présentent ce même fait d'une manière encore plus surprenante, et dont l'explication me paraît bien difficile. On ne peut admettre ici une formation pareille à celle des géodes ou noyaux des roches amygdaloïdes, formées dans des cavités préexistantes : on a bien vu des cristaux commencer à se produire par leurs arêtes et leurs faces extérieures, mais on ne saurait rien concevoir de semblable dans les géodes dont il s'agit. Les vases ferrugineuses qu'on retire des lacs de la Suède, et que l'on exploite comme minerais de fer, montrent, dit-on, en se desséchant, une tendance à se former en globules à couches concentriques. MM. Deluc et Kidd ont remarqué le même fait sur des argiles (1).

Conséquences et remarques.

§. 133. Les différents corps globuleux dont nous venons de parler, s'étant évidemment formés lorsque les roches qui les présentent sont passées, en entier ou par parties d'un assez grand volume, de l'état fluide à l'état solide, nous apprennent que ces roches ont été déposées dans le lieu où elles sont au-

---

(1) Kidd's Geological essay, pag. 29.

jourd'hui, en entier ou par grosses parties, et non successivement et comme molécule par molécule. Lorsqu'auprès d'Hières une montagne calcaire s'est formée en grosses boules, lorsqu'au milieu des sables des Landes une couche de fer hydraté s'est toute divisée en grains, et que cette formation ou division s'est produite parce qu'il s'est établi dans la masse, en même temps, plusieurs centres autour desquels les molécules sont allées se ranger conformément aux lois de cristallisation ou d'attraction qui les sollicitaient, il a bien fallu que, dans ce moment, la montagne ou la couche se soit trouvée, en entier ou par grosses parties, molle ou fluide sur son emplacement actuel.

Toutes les diverses formations globuleuses sont un effet de la force d'affinité qui porte les molécules de même espèce à se rapprocher et à se réunir suivant des lois déterminées. Mais que les effets ont été différents, selon les époques et les circonstances !

Dans les premiers temps des formations minérales, l'affinité, agissant avec toute son énergie, et dans les circonstances les plus favorables, disposait en cristaux toute la matière minérale; elle produisait ceux de feldspath, de quartz, de mica, d'amphibole, etc., dont l'assemblage constitue les roches granitiques; elle produisait les grains lamellaires ou cristallins des marbres saccharoïdes; elle

formait les globules entièrement cristallins du granite de Corse, etc. Dans d'autres circonstances, elle produisait les cristaux polyédriques des porphyres. Dans des moments moins favorables, elle donnait naissance aux globules rayonnés et à couches concentriques des variolites, aux grains des dolomies, etc.

Aux époques postérieures, ses effets seront tous différents : ce ne seront plus que des cristallisations confuses, de simples *pelotonnements* de molécules, et encore ne se verront-ils que de loin à loin. A la place des grains lamellaires des marbres, nous aurons des *pièces séparées grenues*, et des oolithes ternes et compactes ; à la place des beaux globules du granite et du porphyre de Corse, ce ne seront plus que des boules et des tubercules de silex, etc. ; enfin nous aurons des grains ou géodes de fer hydraté. Au reste, quoique la force de cristallisation paraisse presque éteinte dans ces derniers terrains, elle y reparaît cependant encore quelquefois ; c'est elle qui a produit quelques quartz semi-cristallins dans les terrains des environs de Paris.

Les produits volcaniques nous présentent des formations analogues : l'attraction moléculaire, suivant les diverses circonstances du passage de l'état fluide à l'état solide, formera entièrement quelques laves en cristaux, et en fera des masses à structure granitique ; dans presque toutes elle produira des cristaux

comme dans les porphyres; dans quelques-unes, elle formera des boules d'obsidienne perlée; elle divisera les *pechstein* en pièces séparées grenues portant quelques indices de texture à couches concentriques; enfin, elle produira les pièces séparées grenues ternes et compactes de plusieurs basaltes.

### ART. 3. *Structure et étendue des formations.*

#### a) *Structure ou composition.*

§. 134. Lorsque nous examinons les diverses couches qui forment la croûte du globe, nous en voyons quelques-unes qui se trouvent toujours ensemble; elles alternent entre elles, ou passent les unes aux autres, et constituent des formations ou systèmes bien distincts: par exemple, nous ne trouvons jamais les couches de la vraie houille qu'avec et dans des couches d'une argile schisteuse et d'un grès particuliers: elles constituent, par leur ensemble, la grande formation houillère; elles en sont les couches essentielles.

Différentes  
sortes  
de couches  
dans les  
formations.

Ailleurs, on voit assez souvent, au milieu des couches d'une même roche, des couches d'une autre nature; et celles-ci ne se trouvent presque jamais qu'avec les premières: par exemple, les couches de schiste-alumineux et de schiste-siliceux ne se voient qu'au milieu des phyllades (*Thonschiefer*); elles ne sont pas parties essentielles de la formation,

puisque'une grande partie des phyllades n'en contient point; mais, comme elles ne se trouvent pas ailleurs, on peut les regarder comme étant une de leurs dépendances, comme leur étant *subordonnées*.

Quelques autres, sans appartenir exclusivement à une formation, s'y trouvent assez fréquemment et même plus fréquemment qu'ailleurs; elles y sont comme *habituelles*: tel serait le calcaire grenu par rapport au schiste-micacé.

Enfin, il en est qui ne se rencontrent pas ordinairement dans une formation, et qui n'y sont qu'*accidentelles*.

Le nombre des couches de différente espèce qui entrent dans la constitution d'une formation, varie extrêmement; dans celle du plus ancien des calcaires secondaires (*Zechstein*), on compte des couches de grès blanc, de schiste-marno-bitumineux, de calcaire marneux, de marne, de calcaire fétide, de gypse, et peut-être quelques autres encore; tandis que les formations ou les terrains de porphyre et de la plupart des masses minérales non stratifiées, ne présentent guère qu'une seule espèce de roche. Au reste, ce dernier cas est fort rare.

Nous ferons connaître, dans la seconde partie, la nature des diverses couches qui composent chaque formation, ou qui y sont renfermées.

§. 135. L'ordre, dans lequel les diverses couches d'une même formation sont placées les unes sur les autres, varie d'un lieu à un autre : s'il était constant, chaque couche, étant alors d'une époque bien distincte, constituerait une formation particulière. Dans une même formation, les couches sont toujours placées *parallèlement* les unes sur les autres : toutes ont, par conséquent, une même direction, une même inclinaison, et présentent les mêmes inflexions et sinuosités. Nous traiterons de cette direction, inclinaison et forme, dans l'article suivant. La couche qui en supporte une autre en est le *mur*, et celle qui la recouvre en est le *toit*. Le joint, entre une couche et celle qui lui sert de mur, que nous avons déjà appelé *fissure de superposition*, est ordinairement net et bien distinct. Quelquefois cependant la matière d'une couche se mêle, dans le contact, avec celle qui est au-dessus; elles se fondent, en quelque sorte, l'une dans l'autre, de manière que la fissure n'est plus visible et ne peut plus être indiquée avec précision.

Disposition  
réciproque  
des couches.

#### b) *Étendue des formations.*

Dans l'examen des formations nous aurons à distinguer leur *étendue primitive* et leur *étendue actuelle*.

Sous le rapport de l'étendue primitive, les formations sont *générales* ou *partielles*.

Formations  
générales.

§. 136. Les premières ont été produites par une cause générale : on peut se les représenter comme les précipités d'une dissolution universelle, c'est-à-dire qui recouvrait tout le globe terrestre, soit qu'elle fût fluide ou qu'elle fût gazeuse.

Mais de ce que la dissolution était générale, il ne s'ensuit pas qu'il en ait été de même de chaque précipité, et que chacun d'eux ait formé originairement une couche, ou un assemblage de couches, qui aurait enveloppé tout le globe. Pendant que la dissolution déposait une substance, ou une roche, dans un lieu, il a très-bien pu se faire qu'elle ne produisit point de précipité de même espèce dans une autre contrée ; soit que les principes composants de la roche ne se trouvassent pas en quantité suffisante dans cette partie de la dissolution, soit que les causes de la précipitation n'y aient point exercé leur action, soit enfin que d'autres causes y aient mis obstacle. Là il se déposait du granite, et un peu plus loin, mais dans le même temps, il se déposait du schiste-micacé ; les éléments du mica étant, peut-être, en plus grande quantité dans la partie de la dissolution qui couvrait ce dernier lieu.

Les granites, les gneis, les phyllades, et vraisemblablement tous les terrains primitifs, ainsi qu'une grande partie des terrains secondaires, sont de formation générale. L'identité



dans la nature, la structure et le gissement des diverses portions de chacun d'eux, que nous trouvons dans les différentes parties de la terre, nous portent à le conclure. Par exemple, lorsque dans toutes les contrées de l'Europe, de l'Asie, de l'Amérique, où les observateurs ont pénétré, on trouve le même granite partout composé de grains de feldspath, de quartz et de mica, à peu près dans les mêmes proportions, présentant partout le même aspect; lorsque l'on y trouve le même schiste-micacé, également composé de quartz et de mica, ayant partout la même structure, contenant partout des grenats, présentant les mêmes circonstances de gissement; lorsque les premiers calcaires que nous avons en grandes masses, à la suite des terrains primordiaux, présentent les débris des mêmes êtres organisés, et habituellement même grain et même couleur, et que rien n'indique que ces divers granites, schistes-micacés et calcaires soient, en ces différents lieux, le produit de causes locales, il est bien naturel de penser qu'ils sont tous les parties d'un même tout, les produits d'une même cause, agissant, à une même époque, sur les diverses parties du globe, cause générale, mais dont les effets ont reçu un plus grand développement dans une localité que dans une autre.

§. 157. Les formations partielles sont celles qu'on ne trouve que dans certains endroits,

Formations  
partielles.

et qui ne paraissent y devoir leur existence qu'à des causes particulières et locales ; par exemple, à des dépôts opérés dans quelques méditerranées ou dans quelques grands lacs. Naturellement la matière de ces dépôts sera un *detritus* des roches préexistantes, remanié et plus ou moins modifié par les eaux.

Werner en cite un exemple pris de la Lusace, sa patrie : c'était une petite formation consistant en un assemblage de minces couches de calcaire, de grès et de fer argileux ; elle reposait sur un terrain meuble. Lamanon regardait la formation gypseuse des environs de Paris comme un dépôt fait dans un ancien lac, qui occupait autrefois le lieu où elle se trouve, et qui, ayant rompu ses digues, du côté de Mantes, s'était écoulé dans la mer. Les belles observations de MM. Cuvier et Brongniart sur cette intéressante formation, ne contredisent point cette opinion.

Étendue  
actuelle.

§. 158. Les formations n'ont plus aujourd'hui l'étendue qu'elles avaient originairement. Diverses causes ont attaqué les masses et les couches qui les composaient ; elles les ont morcelées et détruites en plus ou moins grande partie ; et, si quelques-unes présentent des masses continues d'une grandeur encore considérable, il en est plusieurs dont il ne reste, pour ainsi dire, que quelques lambeaux épars. Ils se trouvent ou sur les sommités, sous forme de plateaux et de *cônes* ;

ou en *adossements*, contre les flancs de quelques vallées; ou comme *remplissages*, dans des bas-fonds.

Les vestiges des couches qui occupent ce dernier gissement sont les plus considérables: placés dans des enfoncements, étant par conséquent moins en prise à l'action des agents destructeurs, ayant été bientôt recouverts et abrités par les débris éboulés des roches supérieures, ils ont dû s'y conserver plus longtemps. Telle est, en partie, la cause de l'existence des nombreux dépôts de houille qu'on trouve dans les fonds des vallées. Au reste, il est probable que ce fait est encore une suite de l'origine de la formation houilleuse: certainement, c'est une formation générale, car elle se représente partout avec les mêmes caractères, et ces caractères sont bien tranchés; mais elle pourrait bien n'avoir été produite que dans certains lieux en général peu élevés, et à l'aide des débris des montagnes environnantes: on serait du moins tenté de le penser, en voyant les brèches et les grès qui en font toujours partie. M. de Bonnard donne le nom de formations *circonscrites*, à celles qui se trouvent dans ce cas; et une grande partie des formations secondaires me paraît leur appartenir.

Puisque les formations, même générales, peuvent ne pas avoir été produites sur certaines parties du globe, ou, qu'après leur

dépôt, elles peuvent y avoir été détruites, une formation postérieure, en se déposant, pourrait bien ne pas se trouver sur celle qui la précède immédiatement, dans l'ordre des temps; mais sur une plus ancienne de deux, trois, etc., époques. C'est ainsi que la grande formation bouillère, qui vient de suite après le calcaire à encrines, git souvent aussi directement sur des phyllades, des granites, etc. De telles formations, qu'on voit indistinctement sur des terrains de diverse nature, sont nommées *formations indépendantes* par quelques géologues. En stricte rigueur, toute vraie formation est indépendante; et toute masse minérale qui ne pourrait pas être considérée comme telle, rentrerait dans la catégorie des couches subordonnées ou accidentelles dont il a été question au §. 134.

ART. 4. *De l'assemblage ou de la superposition des formations.*

(*Position des couches.*)

Les formations générales, ou plutôt des portions de ces formations, et les formations partielles, placées les unes sur les autres, et quelquefois les unes à côté des autres, constituent, par leur ensemble, la croûte du globe, objet de nos études. Nous verrons, par la suite, l'état de nos connaissances sur leur constitution minérale et sur leur étendue.

Dans cet article, nous n'avons à considérer cet ensemble que sous le rapport de la structure, ou disposition physique de ses parties. Les formations n'étant que des systèmes de strates ou couches parallèles (§. 135), nous aurons à examiner, 1.<sup>o</sup> la position des couches ou strates d'un système par rapport à celle des couches ou strates du système qui suit ou qui précède immédiatement; en d'autres termes, nous aurons à examiner si la stratification de l'un est parallèle à celle de l'autre; 2.<sup>o</sup> la position des couches en général, ce qui comprendra les observations générales qui ont été faites sur la forme, la direction et l'inclinaison des couches.

§. 139. Pour nous faire une idée exacte de ces divers rapports et objets, voyons ce qui a pu, lors du dépôt des formations et de leurs couches, donner lieu à leur forme et à leur position.

Circonstances de la forme et position premières des couches.

Lorsque les formations qui nous sont connues, ont commencé à se déposer, la partie du globe déjà existante présentait très-vraisemblablement, à sa surface, des inégalités, des bas-fonds, et des élévations souvent élevées en longueur, et semblables à d'énormes rides (§. 23). Chacun des premiers dépôts qui se sont effectués dans une contrée, y a produit une strate ou couche, laquelle s'est moulée sur le sol préexistant, en a suivi toutes les sinuosités, et recouvert indistinctement

les éminences et les enfoncements; elle devra ainsi présenter une *alternative de convexités, de plans et de concavités*. Toutes ces strates et couches, abstraction faite des étranglements et des renflements, ont produit, par leur ensemble, une formation dans laquelle les *fissures de la stratification* (§. 123) *seront nécessairement parallèles à la surface de superposition*, ainsi qu'à la superficie du terrain résultant de leur accumulation. Dans les lieux où le dépôt aurait recouvert une de ces rides ou arêtes saillantes que nous avons mentionnées, la direction des couches eût été celle de l'arête, représentant le noyau d'une chaîne de montagnes, et leur inclinaison, sur chaque versant, eût été parallèle à celle du versant.

Supposons maintenant que la cause ou la nature du dépôt vienne à changer; il se produira une nouvelle formation, dont la *stratification sera évidemment parallèle à celle de la formation premièrement produite*. Une suite de telles formations, sur le noyau de notre chaîne de montagnes, constituerait une chaîne dans laquelle chaque formation serait également placée sur chaque versant, et toujours la direction des couches serait celle de la chaîne. Si les formations eussent été les précipités d'une dissolution dont le niveau eût été inférieur à celui du noyau primitif, et eût baissé graduellement, la roche cons-

tituant le noyau paraîtrait au-dessus des couches, et celles-ci se trouveraient à un niveau de plus en plus bas à mesure qu'elles seraient plus nouvelles, et cela symétriquement sur chacun des deux versants.

Admettons actuellement que la production des dépôts soit suspendue pendant un certain temps, que le terrain déjà formé éprouve une forte dégradation, et que cette dégradation soit plus considérable sur un point que sur un autre, ainsi que cela doit presque toujours avoir lieu; dès-lors la *superficie de la formation dernièrement produite perdra son parallélisme à la stratification*. Il en serait de même si, après qu'une formation a été déposée, ses couches venaient à être relevées, plissées, etc.; en un mot, si elles étaient dérangées de leur position et forme premières. Qu'il se dépose ensuite une nouvelle formation, sa stratification sera parallèle à la superficie du terrain dégradé, qui est la surface de superposition; mais *elle ne sera pas parallèle à la stratification de ce terrain, c'est-à-dire, à la stratification de la formation sur laquelle elle repose*.

a) *Parallélisme des couches.*

§. 140. Il suit de ce qui vient d'être exposé dans le paragraphe précédent,

Détermination du parallélisme.

1.<sup>o</sup> Que dans toute formation la stratification est parallèle à la surface de superposi-

tion. J'ai vu de nombreux exemples de ce fait, et je n'ai rien vu qui fût en opposition; en observant toutefois qu'il y a des roches qui, ayant un double clivage (§. 125), présentent des plans qui, au lieu d'être parallèles au plan de la couche, font avec lui un angle plus ou moins aigu.

Au reste, la détermination du parallélisme entre les stratifications est quelquefois assez difficile, et elle demande beaucoup de soin et de discernement. Il ne suffit pas de voir en face un plan ou une fissure, il faut encore l'observer en profil : ce n'est qu'à l'aide de deux lignes qui se croisent sur un plan, que l'on en fixe la position. De plus, à cause des renflements et étranglements que les couches présentent très-fréquemment, le parallélisme entre des fissures de stratification et de superposition ne peut être jugé que dans son ensemble, et non dans ses détails : par suite, il faut souvent un grand nombre d'observations, et sur des points notablement éloignés les uns des autres, pour parvenir à une conclusion positive.

2.<sup>o</sup> Que, lorsque deux systèmes de couches, placés l'un sur l'autre, présentent des stratifications parallèles, on peut en inférer qu'il n'y a eu ni dégradation ni bouleversement notable entre les deux époques de production. Ils pourront s'être succédés sans interruption sensible ; ils pourront même être le



produit d'une même cause, qui aura seulement changé peu à peu de nature : dans ce cas il sera quelquefois difficile de tracer la ligne de démarcation entre eux, et quelques géologues les regarderont comme appartenant à une seule et même formation. C'est ce qui a effectivement lieu pour les terrains de granite, de gneis, de schiste-micacé et de phyllade.

3.<sup>e</sup> Que lorsque, dans deux systèmes consécutifs, les stratifications ne sont pas parallèles, le système inférieur avait déjà éprouvé des dégradations ou des bouleversements, lorsque celui de dessus s'est déposé ; par suite il s'est écoulé un laps de temps notable entre les deux dépôts, et ainsi les deux systèmes constituent des formations bien distinctes. Par exemple, lorsqu'en Flandre, entre Mons et Valenciennes, on voit les couches du terrain houiller pliées et repliées dans la forme d'un immense N, et que par-dessus on trouve un système de couches calcaires et argileuses, étendues bien horizontalement, on conclut, sans hésitation, que ce dernier système constitue une formation particulière, et que la première était entièrement déposée et bouleversée lorsque la seconde s'est produite.

Différence  
de formation  
déduite du  
non-parallé-  
lisme  
des couches.

De même, lorsqu'on trouvera un non-parallélisme bien marqué entre la stratification de deux couches placées l'une sur l'autre, on doit conclure qu'elles appartiennent à deux formations différentes.

Dégradation  
du sol, con-  
clue du non-  
parallélisme.

4.° Enfin, il suit des principes posés au §. 139, que lorsque, dans une contrée, la superficie du sol n'est en aucun rapport de parallélisme avec la stratification, elle a éprouvé de grandes dégradations, ou de grands changements, depuis la formation de ce sol. Par une raison contraire, lorsque la stratification sera à peu près parallèle à cette superficie, on pourra présumer que le sol a maintenant à peu près la même configuration que lors de sa formation originaire : les bassins houillers présentent assez souvent des exemples de ce cas, en faisant toutefois abstraction du terrain de transport qui peut recouvrir les couches solides.

Age  
des couches.

§. 141. La considération du parallélisme, et en général celle de la position des couches, nous conduit fréquemment à la détermination de leur âge relatif : on part du principe, ou plutôt de l'axiome, que *toute couche minérale qui est dans sa position originaire, est toujours de formation moins ancienne que la couche à laquelle elle est superposée.*

Age relatif  
des cimes de  
montagnes.

§. 142. Nous allons essayer de déterminer, à l'aide de ce principe, l'ancienneté des cimes par rapport aux roches qui forment le corps de la même montagne, ou plutôt qui se montrent sur ses flancs.

Les cimes, qui sont d'une nature minéralogique différente de celle de la montagne,

peuvent être de formation ou postérieure, ou antérieure, ou contemporaine.

La cime sera de formation postérieure, lorsque sa stratification ne sera pas parallèle à celle du corps de la montagne, et, par suite, lorsque la surface de superposition coupera cette dernière stratification, et reposera sur la tranche des strates. Voyez *fig. 1.<sup>re</sup>*

Werner distingue, à l'égard d'une pareille superposition, deux cas : 1.<sup>o</sup> lorsque la tranche ou bord supérieur des couches ou strates baisse de niveau à mesure qu'elles sont plus nouvelles (*abweichende Lagerung mit abfallendem niveau*) ; expression que M. de Bonnard rend par *gisement différent à niveau décroissant* ; 2.<sup>o</sup> lorsque les bords haussent de niveau, à mesure que les couches sont plus nouvelles (*übergreifende Lagerung*, ou, avec M. de Bonnard, *gisement transgressif*). Pour exprimer qu'une formation repose sur une autre, avec un gisement *différent* (non parallèle), nous dirons simplement qu'elle repose sur la tranche des couches de la formation qui est au-dessous.

Une cime serait de formation antérieure, si, sur chacun des versants opposés de la montagne, la stratification y était dirigée dans le sens de la pente ; vers le nord, sur le versant septentrional ; vers le sud, sur le versant méridional, etc. *Fig. 2.*

Enfin, il pourra arriver qu'une cime soit de formation contemporaine, ou, pour parler plus exactement, qu'elle soit plus ancienne que les couches d'un versant, et plus nouvelle que celles de l'autre. Ce cas se présente souvent dans la nature : par exemple, dans une montagne de schiste-micacé à couches

fortement inclinées, et qui renfermerait un grand banc de quartz, lequel, ayant plus résisté que le schiste aux agents destructeurs des roches, resterait en saillie; il serait plus nouveau que les couches ou les strates qui lui servent de mur, et plus ancien que celles qui sont à son toit : *Fig. 5*. Il faut bien s'assurer, dans une détermination de ce dernier genre, que la cime appartient à une couche de la montagne, et non à un filon que cette montagne renfermerait : *Fig. 4*.

Remarquons que, dans le dernier cas dont nous venons de parler, la stratification de la montagne est parallèle à un seul plan, et que, dans le second, elle converge de toutes parts vers la cime. Remarquons encore que, lorsqu'on monte sur une montagne, on trouve des couches de plus en plus anciennes, si la stratification est dans le sens du versant sur lequel on s'élève; et de plus en plus nouvelles, si la stratification plonge vers l'intérieur de la montagne : un simple coup d'œil sur la *fig. 5* suffira pour en convaincre.

Il est presque superflu de rappeler que, dans tout ce que nous venons de dire, nous avons supposé que les couches étaient dans leur situation originaire : et l'observateur doit toujours s'assurer qu'il en est réellement ainsi, avant de prononcer sur leur âge relatif.

*b) De la forme et de la disposition des couches.*

§. 143. Une couche, en se déposant sur un sol déjà consolidé, s'est moulée sur lui; elle en a pris les diverses formes: Forme des couches.

Ainsi, 1.<sup>o</sup> en recouvrant entièrement une montagne préexistante, elle s'y sera déposée en forme de *bosse* (elle sera *buckelfœrmig gelagert*, dit Werner). 2.<sup>o</sup> Si, par l'effet de la formation première, ou par celui de quelque érosion postérieure, la cime de la montagne s'élève au-dessus, la couche sera comme un *manteau* qui en recouvrira le corps (*mantelfœrmig gelagert*), fig. 6. 3.<sup>o</sup> Si le terrain présente un dos d'âne, sa forme sera celle d'une longue *selle* (*sattelfœrmig*). 4.<sup>o</sup> Ce sera celle d'une *jatte* ou *fond de bateau* (*muldenfœrmig*), fig. 7, si le terrain sur lequel le dépôt s'est fait, était un bassin ou une vallée: quelquefois il ne présentera que la moitié de ce fond (*halbmuldenfœrmig*), fig. 9. Ces deux formes sont très-communes dans les terrains houillers. 5.<sup>o</sup> Enfin, en se déposant sur une surface fortement inclinée, la couche peut prendre la même position que cette surface, et une de ses parties qui y resterait après la destruction des parties voisines, y serait comme un *bouclier* (*schildfœrmig gelagert*), fig. 9.

Mais le moulage sur un sol préexistant ne suffit plus pour rendre raison de la forme de ces couches souvent plissées et retroussées

d'un grand nombre de manières. Par exemple, on trouve, sur des strates horizontales, des couches arquées ou pliées en forme de C : ordinairement elles ne présentent, dans leur courbure, aucune solution de continuité ; mais, d'autres fois, elles sont brisées dans le pli, souvent encore on voit, derrière la convexité, un vide laissé par la partie supérieure des strates les plus éloignées du centre de courbure : cette partie, en se repliant, s'est brisée et détachée de la partie inférieure. Les descriptions minéralogiques des contrées calcaires renferment un grand nombre d'exemples de ces faits. Ailleurs, on a des couches doublement arquées et pliées en forme de S : Saussure en a mesuré, au *Nant-d'Arpenaz*, dans le Faucigny, un groupe qui avait près de trois cents mètres de hauteur. Dans d'autres montagnes calcaires, dans celle de Musculdi, par exemple, en basse Navarre, je les ai vues pliées en forme de chevron ou de A. Celles des terrains houillers présentent des plis encore plus extraordinaires, tant par leur forme que par leur fréquence et leur grande étendue : on en voit plusieurs exemples dans les planches de l'atlas de la *Richesse minérale*. J'ai donné une description détaillée de ceux qu'on trouve dans les mines d'Anzin, près de Valenciennes (1) : je me bornerai à rappeler que d'énormes assemblages de cou-

---

(1) *Journal des mines*, tom. 18.

ches de houille, de grès et d'argile schisteuse, qui sont plissés en forme de S, y ont souvent plus de cinq cents mètres de long; ils se répètent et se prolongent à une distance de plus de dix lieues et sur une profondeur inconnue. Certainement ces formes contournées ne sont point dues à la figure du sol sur lequel le dépôt s'est fait; elles sont évidemment l'effet d'une cause mécanique, telle qu'une forte compression; due, soit à l'accumulation ou au poids de la matière déposée, soit à un glissement sur une base inclinée, lequel aura occasionné des refoulements et relèvements postérieurement au dépôt, mais immédiatement après et avant que la matière ait été entièrement consolidée; car, ayant observé les couches dans le pli, je les y ai vues souvent bien arrondies et sans brisure; or, une couche de houille ne peut avoir été ainsi pliée que dans le temps où elle était encore molle.

§. 144. La forme torturée des couches doit nécessairement produire des variations dans leur direction, mais ce n'est guère que dans les détails; car, d'ailleurs, leur direction générale, même dans les terrains houillers dont nous venons de parler, est d'une régularité bien digne de remarque. Les observations des géognostes sont à peu près unanimes à cet égard.

Direction  
des couches.

La première, tant par sa date que par son étendue et par la manière circonstanciée

dont elle a été faite et publiée, est celle par laquelle M. Pallassou nous a appris que, dans les Pyrénées, toutes les couches, malgré la différence dans leur nature et dans leur inclinaison, se dirigeaient de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est, direction qui est celle de la chaîne (1). Dietrich, la Peyrouse, Ramond, Charpentier, ont reconnu l'exactitude de ce fait; et depuis quinze ans que je parcours ces montagnes, j'en suis journellement frappé. Dans les Alpes de la Suisse, Saussure, Escher, Gruner, Ebel, ont tous trouvé que le plan général des couches y était dirigé de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est, et qu'il était ainsi parallèle à la direction de la chaîne : alors même que Saussure, tombé dans un scepticisme presque complet, ne voyait plus rien de constant dans les Alpes que leur variété, il terminait son ouvrage en disant : « On observera cependant qu'en général les plans des couches suivent la direction des dos prolongés des montagnes. » (*Sauss.*, §. 2302). J'ai constaté ce même fait, par une multitude d'observations de détail, dans la lisière méridionale des grandes Alpes, au nord du Piémont. Au reste, il faut bien se rappeler qu'il ne s'agit que de la direction générale; car, d'ailleurs, dans un grand nombre d'endroits, il se présente des directions partielles

---

(1) *Essai sur la minéralogie des Monts-Pyrénées*, 1781.



qui en dévient plus ou moins; c'est ainsi que, dans les Alpes piémontaises, à la mine d'Ussel, les couches se dirigent vers l'est, et à celle de Planaval vers le nord-nord-est. Dans la petite chaîne des *montagnes d'Arré*, en Bretagne, j'ai remarqué le même parallélisme entre la direction des couches et celle de la chaîne; l'une et l'autre sont vers l'est-nord-est. J'ai retrouvé cette direction dans les couches, comme dans le corps, de la grande bande houillère qui s'étend depuis l'Artois, par la Flandre et le pays de Liège, jusqu'au-delà du Rhin. Dans toute la partie centrale de l'Allemagne, le *Erzgebirge*, le *Riesengebirge*, le *Fichtelberg*, etc., MM. de Buch, Raumer, Strœm (1), Goldfuss, etc., ont observé le même fait. Il se reproduit en Écosse, où M. Boué a vu la direction des couches correspondre en général à celle des montagnes, et être du sud-ouest au nord-est. Dans le Jura, l'une et l'autre sont du sud-sud-ouest ou nord-nord-est. En Norwège, où les chaînes sont en général dirigées du nord au sud, il en est de même des couches, suivant les observations de MM. de Buch et Haussmann. Sur le plateau du Mexique, au rapport de M. de Humboldt, les couches vont du sud-est au nord-ouest, parallèlement à la chaîne d'Anahuac. Dans l'Amérique septentrionale, les

---

(1) Leonhard's *Taschenbuch*, etc., 1814.

couches primordiales sont dirigées, d'après M. Maclure, comme la chaîne des Alleghanys, du sud-ouest au nord-est. Tous ces faits ont fait établir presque en principe que *la direction des couches est parallèle à celle des chaînes.*

Peut-être pourrait-on généraliser davantage, surtout pour les roches primitives, et remarquer que, puisque la direction des chaînes est, en général, dans le sens de la plus grande dimension des continents ou des îles qui les renferment, il en sera de même de celle des couches : de là la fréquence de la direction de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est, qu'on remarque dans l'ancien continent : des observations ultérieures en décideront. Quoi qu'il en soit, et dès à présent, on peut admettre que la direction des couches, dans les terrains primordiaux, est l'effet d'une cause générale, et qu'elle est indépendante des inégalités de détail que présente une contrée; elle se poursuit indistinctement, à travers les bras ou rameaux de montagnes, les vallées et les plaines.

Inclinaisons  
des couches.

§. 145. Les considérations sur l'inclinaison des couches nous conduiront au même résultat.

Dans les terrains secondaires cette inclinaison pourrait bien être en quelque rapport avec la forme du sol. C'est ainsi que Saussure, résumant l'ensemble de ses observations sur le Jura, y voyait les couches monter sur

un versant, se courber vers le faite et descendre en suivant à peu près la pente de l'autre versant; que les couches de houille suivent habituellement les lois d'inclinaison que leur prescrit le sol primordial sur lequel elles se sont moulées.

Mais il n'en est plus de même dans les terrains anciens : quoique les couches y présentent toutes sortes de variations, et qu'on les voie assez souvent, horizontales ou, presque horizontales, bien plus souvent encore elles se rapprochent de la position verticale : mes observations, dans les Alpes, portent l'inclinaison moyenne entre 50 et 70°.

Cette forte pente n'est pas seulement propre aux pays de montagnes, elle se retrouve dans les régions basses, et jusque dans les plaines. On peut s'en convaincre en examinant les terrains primitifs qui bordent la mer, et en marchant sur le terrain schisteux (*Grauwackenschiefer*), qui fait partie du sol de la Basse-Allemagne.

La direction la plus générale de nos couches étant de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest, leur inclinaison sera vers le nord-nord-ouest ou le sud-sud-est. On a remarqué, en Europe, et particulièrement dans les Alpes, qu'elle était plus fréquemment vers ce dernier point de l'horizon, mais sans aucun parallélisme avec la pente des versants; elle serait même plutôt en sens inverse de cette pente : c'est ainsi que

M. de Buch, longeant les côtes de la Norwège, y voyait les couches plonger continuellement vers le continent et les hautes montagnes; c'est ainsi que, sur le versant septentrional des Alpes suisses, presque toujours les couches plongent vers le midi. Sur l'autre versant elles plongent quelquefois vers le nord; et il arrive assez souvent que le passage d'une de ces pentes à l'autre se fait graduellement, de manière que leur ensemble présente la forme d'un éventail ouvert, dont les côtes se relèvent graduellement, de part et d'autre, jusqu'à devenir verticales vers le faite de la montagne: telle serait la coupé transversale de la chaîne au sud de la vallée de Chamouni, d'après Saussure; celle des Grandes-Alpes au Saint-Gothard, d'après M. Escher (1); celle du Mont-Perdu, dans les Pyrénées, d'après M. Ramond (2), etc. Voy. fig. 10.

Ainsi, l'inclinaison des couches, tout comme leur direction, et jusqu'à un certain point leur forme, est, dans la plupart des terrains, indépendante de la configuration du sol, malgré le rapport qu'il devrait y avoir entre elles (§. 139), et qu'il y aurait vraisemblablement s'il n'était survenu des changemens dans les positions premières.

Remarques sur la forte inclinaison des couches. §. 146. Que ces changemens n'aient eu lieu, c'est incontestable. Nous avons vu (§. 143)

(1) *Alpina*, tom. 1.<sup>er</sup>

(2) *Journal des mines*, tom. 14.

que des couches pliées et repliées sous forme de C, A, S, N, ne pouvaient avoir été déposées ainsi : il en est de même des grands systèmes de couches inclinées. Certainement une couche de nature cristalline peut se former dans une position verticale, et il en aura été ainsi pour quelques-unes; mais pour la plupart de celles que nous voyons aujourd'hui reposer sur leur tranche, elles ont été primitivement placées sur leur plat : c'est hors de doute. J'entre dans quelques détails sur ces deux points.

On sait qu'une substance saline se précipite tout aussi indistinctement sur les parois que sur le fond d'un cristalliseur, et que les cristaux qui se déposent sur des barreaux placés verticalement dans la dissolution, sont même les plus beaux. Mais, pour prendre nos exemples dans la nature, nous rappellerons que, dans des filons entièrement verticaux, on voit les deux parois revêtues de couches de quartz, de plomb sulfuré, etc., tandis que le milieu reste vide. Les géodes des roches amygdaloïdes dont nous avons parlé (§. 118), et qui sont composées de couches sphéroïdales de calcédoine, de quartz, etc., d'égale épaisseur, prouvent l'indifférence avec laquelle une précipitation se fait sur une surface inclinée et sur une surface horizontale; elle se fait même tout aussi bien de bas en haut, que de haut en bas; la force de cristal-

lisation étant infiniment supérieure à la gravité, et n'étant nullement influencée par elle. J'ai vu un exemple frappant de ce fait, dans des tuyaux de conduite retirés du palais du Luxembourg, à Paris : l'eau, chargée de carbonate calcaire, les avait revêtus d'une incrustation d'une épaisseur égale, d'environ un pouce, dans tout leur pourtour. Non-seulement Saussure admettait la possibilité de ce mode de formation pour les couches éminemment cristallines des roches primitives, mais encore pour des couches produites par une cristallisation confuse, telle que celles du Jura. Les rochers, disait-il, étant produits par une cristallisation, on ne doit nullement s'étonner de voir leurs couches perpendiculaires à l'horizon. (*Sauss.*, §§. 239, 340.)

Redresse-  
ment ou ren-  
versement  
des couches.

Si l'on n'avait que quelques couches de gneis, par exemple, reposant sur un granite très-incliné, on admettrait sans hésitation ce mode de formation. Mais lorsque, sur une grande étendue de terrain, on trouve des couches presque verticales; lorsque, dans un espace de cinquante lieues, depuis le Hanovre jusqu'aux Ardennes, on marche presque toujours sur la tranche des couches du schiste-phyllade (*Grauwackenschiefer*), il est bien difficile d'admettre cette même cause. Lorsqu'au milieu de ce schiste on trouve des fragments de phyllade de forme plate, ayant

leur plan parallèle à celui de la strate qui les contient, et étant par conséquent posés de champ, puisque la strate est presque verticale, et j'ai vu le fait, il est alors évident que cette strate et celles entre lesquelles elle est comprise ont été formées horizontalement, et qu'une cause étrangère les a portées dans leur position actuelle. Saussure a été contraint à la même conséquence, à la vue des poudingues de Vallorsine, devenus depuis si célèbres parmi les géognostes : ils consistent en un schiste phyllade (*Grauwackenschiefer*), à strates presque verticales, contenant des fragments de gneis et de schiste-micacé ayant six à sept pouces. A cet aspect, Saussure ne put s'empêcher de dire, « que des  
 « particules de la plus extrême ténuité, sus-  
 « pendues dans un fluide, puissent s'agglu-  
 « tiner entre elles, et former des couches  
 « verticales, c'est ce que nous concevons  
 « très-bien..... Mais qu'une pierre toute for-  
 « mée, de la grosseur de la tête, se soit,  
 « arrêtée au milieu d'une paroi verticale, et  
 « ait attendu là que les petites particules de  
 « la pierre vinssent l'envelopper, la souder  
 « et la fixer dans cette place, c'est une sup-  
 « position absurde et impossible. Il faut donc  
 « regarder comme une chose démontrée,  
 « que ces poudingues ont été formés dans  
 « une position horizontale, ou à peu près  
 « telle, et redressés ensuite après leur en-

« durcissement, » De pareilles preuves de relèvements ou de renversements sont très-communes dans les terrains houillers.

Quelle est la cause qui les a produits, et qui a relevé une si grande partie des couches des Alpes, des Pyrénées, et de nos continents? Ce ne seront pas les mouvements de bascule, imaginés par Deluc, lesquels, à l'époque de grands affaissements, auraient soulevé une extrémité des couches en abaissant l'autre (§. 104) : on ne saurait concevoir comment les couches de schiste, de granite, etc., matières si friables, en pivotant ainsi sur un point d'appui, auraient porté un de leurs bords à mille mètres au-dessus de ce point. Ce ne seront pas les feux souterrains, ou des fluides élastiques dégagés de l'intérieur du globe : de pareils agents peuvent bien déplacer et rompre des couches (§. 107); mais ils ne saisiront jamais, comme un immense paquet, un ensemble de couches horizontales ayant quelquefois cinquante lieues d'épaisseur (p. 342), et quelques centaines de lieues de long, pour le renverser, mettre ses strates sur la tranche, et cela sans les briser, car souvent ce système de couches redressées est d'une étonnante uniformité. Qu'on ne s'y méprenne pas : le désordre que présentent les chaînes de montagnes au premier aspect, n'est souvent qu'apparent; et la régularité de leur structure, dans les Pyrénées, les Alpes,



etc., a excité l'admiration des observateurs (1). La régularité dans la structure de la croûte du globe est encore constatée par le relevé de la marche souterraine du mineur : il suit ses filons le plus souvent en *ligne droite*, et quelquefois sur une longueur d'une et deux lieues. Qu'on jette les yeux sur les plans des mines de Freyberg, du Hartz, et même d'Anzin (2); on y verra des systèmes de filons affectant des directions constantes et rectilignes, d'énormes paquets de couches courbées et plissées uniformément; les rejets de ces filons et couches y sont soumis à de mêmes lois : tout, en un mot, y offre plus encore l'image de l'ordre que du désordre. Dans les mines, où l'on a tant d'intérêt à bien observer les dérangements de la stratification, on ne trouve presque jamais des couches brisées et disloquées en tout sens, comme elles le seraient, si des fluides élastiques, se faisant jour à travers les couches, avaient dérangé leur ordre primitif, et les avaient bouleversés et renversés. Les brisures et petits *brouillages* qu'on rencontre dans les mines, ne sont que partiels, et sont évidemment l'effet d'un simple affaissement ou d'un écrasement provenant du poids de la masse minérale avant son entière consolidation.

(1) Ebel et Escher, pour les Alpes. *Alpina*, tom. IV, p. 304. — Ramond, Charpentier, pour les Pyrénées. *Const. des Pyr.* p. 72.

(2) Voyez l'atlas de la *Richesse minérale*, par M. Héron de Villefosse.

En indiquant les affaissements et les tassements comme une des causes des rejets, brisures et plis des couches, je me garde bien de les donner comme la cause du renversement qui a mis dans une position presque verticale un si grand nombre de couches déposées d'abord horizontalement. Cette cause est encore une cause générale ; mais sa nature et la manière dont elle a agi nous sont inconnues, et très-vraisemblablement elles sont dérobées pour toujours à notre connaissance : il ne se produit plus aujourd'hui aucun effet de même espèce, c'est-à-dire aucun changement dans la position des couches, et nous ne pouvons juger de rien que par comparaison. Nous nous bornerons à remarquer que le redressement des couches est presque contemporain de leur formation, et qu'il est antérieur au dépôt des masses qu'on voit si souvent sur leur tranche.

Au reste il n'est pas encore temps de nous occuper des causes : toutes les circonstances et les lois de la division des masses minérales en couches et en strates, ainsi que celles de la position de ces couches et strates, tant dans leur état primitif que dans leur état actuel, sont loin de nous être connues, et nous sommes contraints de dire, en terminant cette matière, que leur détermination est encore un problème à résoudre, et c'est peut-être le plus important de la géognosie.

## CHAPITRE VI.

### DES CHANGEMENTS SURVENUS PROGRESSIVEMENT DANS LA FORMATION DES MASSES MINÉRALES. CLASSEMENT DE CES MASSES.

§. 147. **P**OUR terminer les considérations générales sur les masses et couches minérales, il ne resterait plus qu'à examiner la manière dont elles ont été formées et placées dans les gîtes qu'elles occupent, en indiquant les circonstances et les changements qui ont présidé à leur production et à leur placement.

Objet  
du chapitre.

En agir ainsi, ce serait faire l'histoire de la formation de la partie du globe qu'il nous a été donné de connaître, ainsi que celle des révolutions causes des changements manifestes qui ont eu lieu à ses différentes époques. Mais de telles formations et révolutions sont presque toutes d'un ordre qui n'a plus d'analogie dans les phénomènes de l'univers qui se passent sous nos yeux : le fil de l'induction est coupé ; il ne saurait plus nous conduire : essayer d'aller en avant sans un tel guide, ce serait vouloir se perdre dans la vaine région des hypothèses ; et ce traité ne doit contenir qu'une exposition méthodique des faits.

Cette exposition, en ce qui concerne les différences que présentent les diverses assises de l'écorce du globe, va être l'objet de ce chapitre. Nous chercherons ensuite à faire servir ces différences au classement des assises où masses minérales dont nous avons à donner l'histoire naturelle.

1) *Différences entre les formations des divers âges.*

Différence  
entre les ro-  
ches sous le  
rapport de  
leur origine  
(ignée ou  
non ignée).

§. 148. Si nous considérons les masses où roches qui se trouvent immédiatement à la superficie de la terre, sous le rapport de leur mode de formation, nous y voyons deux classes bien distinctes; les unes sont des productions volcaniques, les autres sont des dépôts formés sur le fond des mers.

Les premières sont d'abord des laves que nous avons vu sortir incandescentes de la bouche des volcans. Ailleurs, nous en trouvons d'absolument pareilles, mais refroidies depuis des temps antérieurs à toute tradition, et le plus souvent sans indice de la bouche qui les a vomies; toutefois leur origine n'en est pas moins incontestable. Dans d'autres contrées, nous avons d'énormes masses de montagnes en partie scorifiées et vitrifiées; et quoiqu'il soit difficile de concevoir comment elles sont venues sur le lieu qu'elles occupent, elles n'en portent pas moins des

preuves irrécusables de leur origine ignée; ce sont des roches porphyritiques et granitoïdes qui ont de grands rapports avec les porphyres et les granites des terrains les plus anciens. Enfin, en s'enfonçant dans l'intérieur de la terre, nous trouvons des masses noirâtres, souvent celluleuses et qui ressemblent beaucoup aux produits volcaniques.

D'un autre côté, les premières couches pierreuses que nous voyons à la superficie du globe, étendues horizontalement les unes sur les autres, renfermant une multitude de coquilles, alternant avec des sables et graviers plus ou moins agglutinés par un suc lapidifique, sont évidemment des séries de dépôts qui se sont formés dans le sein des mers ou de grands lacs. Au-dessous de ces couches, nous en trouvons de semblables, également calcaires ou sablonneuses, seulement elles sont ou plus inclinées ou plus contournées, et les coquilles qu'elles contiennent s'éloignent de plus en plus, par leur espèce ou leur genre, de celles qui vivent dans les mers actuelles. Plus avant dans l'ordre de temps, les assises calcaires perdent peu à peu leurs coquilles; elles s'enlacent ou se mélangent avec des schistes talqueux et micacés, lesquels à leur tour, et bientôt après, s'engrènent avec les roches granitiques et passent même aux vrais granites.

Des naturalistes voyant ici une suite de couches ou masses minérales parfaitement continue, dont les termes ou se tiennent intimement, ou se fondent les uns dans les autres, certains de l'origine des premiers, ont pensé que les derniers, quelque différens qu'ils fussent, pourraient bien s'être aussi formés dans des mers dont la nature aurait d'ailleurs varié comme celle de leurs produits : ce sont les *Neptuniens*. D'autres, trouvant, dans ces derniers termes, une grande analogie de composition et de structure avec les produits du feu, les ont regardés comme ayant une même origine : ce sont les *Plutoniens*.

Désirant écarter du corps de ce *Traité de géognosie* tout ce qui aurait une apparence de pure hypothèse, je renvoie à la *note III* l'examen de cette intéressante question. Qu'il me suffise de remarquer en ce moment, que les roches d'une origine manifestement ignée sont bien peu considérables en volume comparativement aux autres (§. 106), qu'elles leur sont généralement superposées, et par suite d'une époque postérieure; que ces autres constituent presque en entier la partie du globe qui nous est connue, et qu'elles forment comme une chaîne continue : toutefois ses chaînons, en allant d'une extrémité à l'autre, présentent, progressivement, les différences que nous allons indiquer.

§. 149. Les plus anciennes des masses minérales qui nous soient connues, les roches granitiques, sont principalement composées de feldspath : le quartz et le mica l'accompagnent. Dans les formations subséquentes, le premier de ces trois minéraux diminue graduellement, le mica au contraire augmente ; il finit par prédominer, et l'on a successivement les gneis, les schistes-micacés et les phyllades. La magnésie abonde vers le milieu de cette série de roches, et contribue à produire les talcs, serpentines, amphiboles, diallages, asbestes, etc., qu'on y voit en quantité.

Changement  
dans la na-  
ture minér.  
des roches.

Le carbone, dont on rencontre à peine quelques indices, à l'état de carbure de fer, dans les premières productions, paraît ensuite ; il colore d'abord les ardoises régulières, et peu après il forme la base des grands dépôts de combustible minéral qui existent dans le sein de la terre. A l'état d'acide, combiné avec la chaux et formant ainsi la pierre calcaire, il ne se présente que rarement, et en couches minces, dans les formations antiques : il augmente ensuite, se voit en nombreuses et grandes assises dans les temps moyens, et il finit par constituer presque entièrement les terrains modernes, lesquels ne consistent en définitive qu'en couches calcaires, séparées par des débris d'anciennes roches, et renfermant quelques bancs de chaux sulfatée.

La silice, le quartz, se retrouve dans les produits de presque toutes les époques : nous l'avons vu partie constituante des premiers granites ; plus tard, il forme de grandes masses et jusqu'à des montagnes entières ; et dans les dernières formations, il est la base des différentes sortes de grès qu'elles renferment.

Changement  
dans la  
texture.

§. 150. Les couches de divers âges présentent une différence bien remarquable dans une des circonstances de leur formation : les plus anciennes sont des produits cristallins, les suivantes se présentent comme des sédiments, et dans les dernières on a des assises composées de matières chariées par une cause mécanique. Au reste, ce changement est loin de présenter une dégradation progressive d'une extrémité de la série à l'autre : à des couches entièrement cristallines on voit succéder tout à coup des bancs de pierres roulées, et réciproquement, et cela avec des alternatives plusieurs fois répétées.

Les premières roches, celles à structure granitique, composées de grains ou cristaux de feldspath, de quartz, d'amphibole, de mica, etc., bien distincts les uns des autres, décèlent, par la séparation et la disposition de leurs diverses molécules intégrantes, une formation faite lentement et avec tranquillité. Puis la cristallisation est devenue plus confuse ; il semble que les molécules, n'ayant



plus eu le temps ou la facilité de se séparer aussi complètement, n'ont pu former d'aussi gros cristaux; de là ces granites à grains indiscernables à la vue et qui forment la base des porphyres, ces schistes dans lesquels les grains de quartz et les paillettes de mica ne s'aperçoivent que très-difficilement. Ensuite la séparation ne s'est plus opérée, l'aspect cristallin a disparu, il ne s'est produit que des masses compactes dont le tissu se relâchait de plus en plus; les serpentines, les phyllades, etc., en offrent des exemples. Enfin, les dépôts s'étant faits peut-être avec plus de précipitation, les produits ont été d'un aspect terreux, comme dans les ardoises.

Vers cette époque des formations minérales, il se présente un nouvel ordre de choses. Jusqu'ici, que la cristallisation eût été distincte ou confuse, ses produits étaient purs et homogènes; leur matière semblait une production nouvelle: maintenant la matière sera fournie en partie par les roches antérieurement formées; ces roches seront brisées; leurs fragments seront comme triturés, ils seront chariés et portés, par des courants, jusques dans les mers; ils s'y mêleront avec les dépôts qui s'y forment, et ils en altéreront la pureté et l'homogénéité; ils donneront lieu à des poudingues et des grès.

A cette période de trouble succédera le calme; et sur ces bancs de matière de transport il se déposera des couches homogènes et quelquefois cristallines. Des moments d'agitation se représenteront encore; et ils seront encore suivis de formations tranquilles: de là les alternatives de produits chimiques et de produits mécaniques que l'on voit jusques aux dernières époques.

Ainsi la nature, en allant des premières formations entièrement cristallines, jusqu'aux dernières généralement sédimentaires ou mécaniques, est souvent revenue sur ses pas pour quelques instans. Après les granites et les gneis, elle avait déjà formé les schistes-micacés et même des schistes-phyllades, lorsqu'elle a reproduit quelques granites, et ce n'est qu'après de pareilles hésitations qu'elle est décidément passée aux grandes masses schisteuses. Elle les a ensuite entremêlées de brèches, de grès, de poudingues, et lorsqu'elle ne paraissait plus occupée qu'à accumuler ces roches *fragmentaires*, on l'a vue reproduire quelques porphyres. Jusques dans les derniers temps, on remarque ses retours vers l'ancien état des choses; c'est ainsi qu'elle a placé des masses quartzeuses, ayant quelque apparence cristalline, sur des couches de craie ou de marne, et des assises de pierre calcaire sur des bancs de sable ou de pierres roulées. Une telle marche pourrait être comparée à celle d'un pendule qui oscillerait continuellement, et par des oscillations plus ou moins grandes, pendant que le point de suspension avancerait d'un lieu vers un autre. Cependant l'époque mitoyenne, où l'on a vu se produire une si grande quantité de brèches, de grès, de houilles, etc., diffère tellement de ce qui l'a précédée et de ce qui l'a suivie, qu'on est porté à y voir un vrai changement dans la marche de la nature plutôt qu'une simple oscillation: elle nous prouve un temps de destruction, une action nouvelle, violente et presque subite entre la formation pai-

sible des roches primordiales, et la formation généralement tranquille des grands terrains calcaires : elle nous apprend que de grandes terres déjà mises à découvert avaient été peuplées de végétaux, qui ont été ensuite ensevelis dans nos houillères, et que ces terres ont été recouvertes d'une mer nouvelle.

§. 151. La différence que les masses minérales présentent dans leur stratification, et dont il a déjà été question (§. 126), tient aussi, jusqu'à un certain point, à l'époque de leur production.

Changement  
sous le rap-  
port de la  
stratification

La division en strates est très-distincte dans les couches des dernières formations; elle y indique évidemment une succession de sédiments déposés les uns sur les autres. Au-dessous, cette division et l'indice de sa cause s'altèrent peu à peu : dans les schistes du moyen âge (*Grauwackenschiefer*), cette cause a perdu, non de sa certitude, mais de son évidence. Enfin, elle est devenue problématique dans les roches antiques, où la stratification semble être plutôt un effet de la nature minéralogique que du mode de formation : nous l'avons déjà remarqué, dans celles où le mica est en quantité considérable, soit en paillettes distinctes, soit en particules indiscernables, tels que les gneis, les schistes-micacés, les phyllades, la stratification est très-prononcée; mais dans les autres, tant dans celles à structure granitique, que dans celles à structure simple, soit à cristallisation distincte, soit à cristallisation confuse, comme dans les

calcaires lamellaires, les serpentines, les porphyres, on ne voit plus ou presque plus de stratification : ce sont bien encore des couches, ou de grands bancs placés entre des assises d'une autre nature, parallèlement à la stratification générale du terrain; mais ils ne sont pas, au moins ordinairement, divisés en strates.

Changement  
dans  
l'étendue des  
formations.

§. 152. Les formations minérales montrent encore, sous le rapport de leur étendue, une différence notable dépendante de leur âge relatif.

Les plus anciennes, les granites, gneis, etc., sont *générales* : elles semblent avoir enveloppé tout le globe : sur tous ses points, soit qu'on les voie immédiatement à la surface, soit qu'on puisse les atteindre au-dessous des couches qui les recouvrent, on les retrouve, et on les retrouve exactement avec les mêmes caractères, en Asie et en Amérique, comme en Europe. Les suivantes, les phyllades, etc., se présentent aussi avec les mêmes caractères : mais elles manquent dans un grand nombre de contrées; ou parce qu'elles ne s'y sont pas originairement produites, qu'il se formait par exemple du gneis dans un lieu, tandis qu'il se formait du phyllade dans un autre; ou parce qu'elles y ont été postérieurement détruites, soit par l'action du temps, soit par l'effet de quelque circonstance locale. Plus avant, en suivant le cours des âges, nous

avons des formations qui se retrouvent encore dans un très-grand nombre d'endroits du nouveau comme de l'ancien continent, avec même composition minéralogique, même structure, mêmes circonstances de gissement, et qui, par conséquent, présentent bien encore un caractère de généralité; mais elles n'occupent que des espaces particuliers et de peu d'étendue: ce sont les formations *circonscrites* (§. 138), dont la grande formation houillère a offert un exemple bien caractérisé. Enfin, dans les derniers temps il semble que les formations sont *particulières* aux contrées dans lesquelles on les trouve, et la spécialité est d'autant plus marquée que la formation est plus récente.

§. 153. Ce n'est pas seulement par leur nature, leur texture et leur plus ou moins de généralité que les formations des diverses époques diffèrent entre elles; elles diffèrent encore, et d'une manière extrêmement remarquable, par les débris ou vestiges des êtres organisés qu'elles renferment.

Apparition  
successive  
des êtres  
organisés.

Une grande partie des roches ou couches était déjà déposée et consolidée, lorsque ces êtres commencèrent à paraître sur notre globe, et, par suite, à laisser leurs dépouilles ou leurs empreintes dans les terrains qui se formèrent durant ou peu après leur existence.

D'abord ces vestiges sont très-rares: ils ap-

partiennent à des plantes aquatiques monocotylédones, à de grands roseaux, différents et par leur taille et par leur espèce de ceux qui croissent aujourd'hui sur notre planète. Ensuite paraissent les plus simples des animaux, ces polypes coralligènes qui, fixés au sol, n'y font en quelque sorte que végéter, qui tiennent comme un milieu entre les produits du règne animal et les plantes, et que l'on a nommés en conséquence *zoophytes* : tels sont les madrépores, les coraux, les encrines, etc. Dans les couches suivantes on trouve, et en plus grande quantité, des restes de mollusques, animaux d'une structure encore fort simple, et qui n'ont rien de semblable à ceux qui vivent actuellement dans nos mers; ce sont des orthocératites, des ammonites, etc. : on voit aussi dans ces couches des crustacés d'un genre inconnu, qu'on désigne sous le nom de *trilobites*.

En descendant le cours des âges, les vestiges des plantes se multiplient : ils appartiennent à d'énormes bambous, à des fougères d'une espèce particulière, dont la substance, portée et déposée à une certaine époque, à diverses reprises et dans des contrées basses, anses ou bassins, a produit les nombreuses couches de houille des formations circonscrites qui occupent ces contrées et dont nous venons de parler (§. 152). Nous avons ici une nouvelle preuve de ce fait déjà

remarqué (§. 150) : qu'à une époque reculée, au milieu de la série des formations minérales, des portions de terre, recouvertes depuis par de grandes mers et par leurs sédiments, avaient produit une forte végétation et avaient par conséquent été à découvert.

Dans les premiers sédiments calcaires ou marneux de ces nouvelles mers (les anciennes avaient produit les couches à orthocératites, encrinites, trilobites; le *old red sandstone*, l'*enchirinal limestone* des Anglais), on découvre les premiers vestiges des animaux vertébrés : ce sont des empreintes de poissons; et si de telles empreintes, trouvées dans quelques schistes, à Glarus en Suisse, étaient d'une époque antérieure, on aurait toujours ici les premiers vestiges des animaux amphibies, de *monitors*, sorte de lézards trouvés dans les schistes marno-bitumineux de la Thuringe. Les êtres de cette classe, celle des sauriens, se multiplient dans les couches subséquentes : ce sont des animaux marins, partie lézards, partie poissons, d'une structure extraordinaire et d'une taille souvent gigantesque; ils sont accompagnés d'ossements de crocodiles ou de tortues, comme eux, quadrupèdes ovipares, d'une espèce aujourd'hui inconnue sur notre globe, et dont les analogues, quant au genre, ne se trouvent plus que dans les régions équatoriales. Ces mêmes couches, et celles qui sont au-dessus, renferment encore des restes

de crabes, de cétacés (dauphins), et de quelques oiseaux. Mais en bien plus grande quantité, ces couches contiennent des coquilles d'espèces différentes, et quelquefois en telle abondance que leur masse en est presque entièrement formée : ces coquilles y sont le plus souvent rangées comme par familles, chaque couche ou système de couches contenant des familles particulières, lesquelles ont en général d'autant plus d'analogie avec les coquilles des mers actuelles, qu'elles sont plus modernes, c'est-à-dire qu'elles sont renfermées dans des couches plus élevées.

Dans la dernière des grandes formations calcaires, qui paraisse avoir été produite au sein d'une mer paisible et permanente, on trouve, pour la première fois, des vestiges des mammifères; mais ce sont encore des animaux marins, phoques ou lamantins. Les mammifères terrestres, les quadrupèdes proprement dits, ne viennent qu'après. Ceux qu'on trouve d'abord, les *diophiodons* des marnes marines, et puis les *palæotheriums* et *anaplotheriums* des gypses de Paris, ne ressemblent en aucune manière aux quadrupèdes actuels : leurs débris sont empâtés dans des couches marneuses, calcaires ou gypseuses, qui paraissent avoir été déposées au fond de mers intérieures, comme la mer Caspienne, ou au fond de grands lacs d'eau douce.

Enfin, dans les terrains meubles qui re-



couvrent ces dernières formations pierreuses, paraissent les quadrupèdes analogues aux nôtres : ce sont des éléphants, des rhinocéros, des lions, des hyènes, etc.; mais encore les races qui ont laissé leurs dépouilles dans ces terrains n'existent plus; et si des êtres du même genre vivent aujourd'hui dans la zone torride, ils ne sauraient exister dans les régions où nous trouvons ces dépouilles : elles y sont avec des ossemens de *mastodontes*, de *megatheriums*, etc., animaux aujourd'hui entièrement perdus; et avec des ossemens de chevaux, de buffles, d'ours, etc., ressemblant beaucoup, sinon entièrement, aux chevaux, buffles et ours actuels. Les terres et les sables, qui les enveloppent, même au centre de la Sibérie, contiennent souvent aussi des coquilles marines; et tout porte à croire que les divers animaux dont nous venons de faire mention, vivaient paisiblement dans les lieux où sont leurs vestiges, et qu'une inondation de la terre est venu les y enterrer, et les anéantir quelquefois jusque dans leur espèce. Au milieu des derniers de ses atterrissements ou dans d'autres, bien anciens, formant le fond de quelque basse contrée ou de quelque tourbière, on trouve encore des restes de chevaux, de bœufs, de chiens, etc.; absolument semblables aux nôtres.

L'homme n'a pas encore laissé ses dépouilles dans ces mêmes terrains : il n'existait donc

pas lors de leur formation ; il serait le dernier produit, comme il est le chef-d'œuvre de la création.

Dans l'esquisse rapide de l'apparition successive des diverses classes des êtres organisés que nous venons de tracer, nous avons eu particulièrement pour objet de signaler l'époque minéralogique à laquelle chacune de ces classes a commencé à paraître. Dans la seconde partie de ce traité, nous donnerons quelques détails relatifs aux vestiges organiques que renferme chaque formation ; les travaux et les recherches de M. Cuvier seront nos guides dans cette matière, une des plus importantes et des plus curieuses de l'histoire naturelle.

## 2) *Classement des masses minérales.*

Principes du  
classement.

§. 154. Il résulte de ce qui vient d'être exposé dans la première partie de ce chapitre, que les diverses assises de la croûte du globe diffèrent entre elles principalement par leur nature minéralogique, par une texture cristalline ou terreuse, par une structure stratifiée ou non, et par les êtres organisés dont elles renferment les débris.

Ce sont ces différences qui nous serviront à les distinguer les unes des autres, et à établir les divisions à faire dans l'exposition de leur histoire. La géognosie ayant pour objet de faire connaître la structure de l'édifice qu'elles constituent, ce sera naturellement en suivant l'ordre de leur superposition, ou, ce qui revient au même, de leur âge relatif, qu'une telle exposition doit être faite dans

un traité sur cette science. En principe, c'est d'après l'âge relatif des assises ou formations minérales qu'elles doivent être classées en géognosie.

Si un des caractères distinctifs que nous venons de signaler suffisait pour faire connaître l'âge de la formation qui le présente, seul il serait pris pour guide, et il conduirait à une classification précise et régulière. Mais il n'en est pas ainsi, même pour l'établissement de la première des divisions, celle des terrains ou formations en classes : nous allons le voir par l'essai qu'en ont fait divers naturalistes.

Quelques-uns, Guettard, etc., ayant vu les choses trop en grand, ou de trop loin, et prenant pour base la nature minéralogique des roches, ont distingué les terrains en *granitiques*, *schisteux* (phylladiques) et *calcaires*. Il est vrai qu'en général les premiers forment les étages inférieurs, les seconds les étages moyens, et les troisièmes les étages supérieurs : mais, dans les premiers et les seconds, on trouve des assises et même des formations calcaires ; au-dessus des schistes on voit des montagnes granitiques : ainsi ces divisions manquent d'exactitude, elles ne sont pas d'ailleurs assez nombreuses, et leur principe ne permet guère de les multiplier et de les sous-diviser.

Celui qu'on prendrait de la texture ou cristalline, ou sédimentaire ou fragmentaire,

serait encore moins admissible. La majeure partie des couches minérales étant à cristallisation confuse, on ne saurait souvent à quelle classe les rapporter. Des formations très-cristallines, de syénite, par exemple, sont superposées à des formations mécaniques de schiste traumatique (*Grauwacke* et *Grauwackenschiefer*). Dans une même formation, on a quelquefois des couches cristallines de calcaire ou gypse saccharoïde, et des couches de transport, des grès.

On a essayé aussi, mais avec moins de succès encore, de baser une division des terrains sur la stratification, ou plutôt sur la forme par couches manifestement semblables à des sédiments déposés les uns sur les autres, et l'on a eu les terrains à couches (*Flætz-Gebirge*), et les terrains antiques (*Urgebirge*) placés au-dessous.

Les vestiges des êtres organisés, par leur présence dans les formations, leur diversité et l'apparition successive de leurs espèces, seraient bien plus propres à servir de principe à une classification géognostique, et il y servirait si un seul principe pouvait suffire. Il y a plus d'un siècle que des naturalistes, adoptant cette base, divisèrent les terrains en deux grandes classes : les premiers, antérieurs à l'existence de ces êtres, furent les terrains *primitifs* ; les autres, postérieurs à cette existence, furent les terrains *secondaires*.

Ceux-ci, d'après les différences des corps organiques qu'ils renferment, ont été sous-divisés en trois autres sections ou classes : la première comprend les formations qui s'étendent depuis l'apparition des êtres organiques jusqu'à celle des animaux vertébrés, ou avec d'autres géologues, jusqu'à celle des amphibiens; la seconde présente les formations antérieures à l'existence des mammifères, et la troisième, les formations postérieures : de là les terrains *intermédiaires*, *secondaires* proprement dits, et *tertiaires*.

Quoique cette division soit très-admissible en théorie et que nous l'ayons admise, on ne peut disconvenir que dans l'application son principe ne présente de telles difficultés qu'il est impossible de le prendre pour seul guide. Les premiers indices de l'organité, les premiers indices des classes zoologiques que nous avons nommées, sont très-rares et comme très-clairsemées dans les formations minérales : on parcourra quelquefois dix lieues dans un terrain intermédiaire avant d'y trouver une empreinte de plante ou un reste de trilobite qui en indique la classe; le naturaliste qui s'arrêtera à cette distance, le portera dans celle des terrains primitifs; s'il se fût avancé un peu plus loin, il l'eût mis dans la classe suivante. Qu'on se rappelle que ce n'est encore qu'en un seul endroit qu'on a trouvé des empreintes de poissons dans un schiste-

ardoise, et qu'il n'est pas même constaté à quelle formation ce schiste appartient; que ce n'est encore qu'en Thuringe qu'on a découvert des vestiges d'amphibies dans le premier des calcaires secondaires. Par suite, et nécessairement, il faut encore prendre, au moins comme subsidiaires, quelques autres caractères pour distinguer et reconnaître les diverses classes de terrains.

Division des  
terrains en  
classes.

§. 155. Si nous considérons l'ensemble de ces terrains, en faisant toujours abstraction de ceux qui sont manifestement d'origine ignée, nous en voyons deux sortes qui, prises en masse, sont entièrement différentes, les terrains primitifs et les terrains secondaires proprement dits. Indépendamment de l'absence des vestiges d'êtres organisés dans les uns et de leur présence dans les autres, les premiers sont composés de plusieurs minéraux, différents en espèce, en forme, en couleur; ils sont d'une texture cristalline; tantôt ils semblent formés d'un seul bloc, bien que diversement fendillé; tantôt ils présentent une stratification de nature particulière et problématique: dans les seconds on ne voit que des calcaires et des grès, presque toujours d'un aspect terne, sale et terreux; ils sont en couches évidemment déposées, sous forme de sédiments, les unes sur les autres.

Entre ces deux classes se présente la grande époque de destruction que nous avons déjà

signalée (§. 150); elle y est comme un *intermédiaire* qui lie indissolublement ce qui vient de nous paraître si différent. Par les schistes talqueux et les ardoises qu'on voit si souvent dans l'étage inférieur de ses produits, elle se lie intimement aux schistes-micacés et aux phyllades des terrains primitifs; par la formation houillère, qui se trouve dans l'étage supérieur et qui se reproduit, à peu de différences près, dans les terrains secondaires, elle tient tout aussi fortement à ces derniers terrains. Cette classe est caractérisée et par l'immense quantité des débris des roches primitives qui constituent une partie de ses assises, et par le carbone qui se trouve dans presque toutes. Nous avons indiqué ses limites zoologiques, formant, en principe, le caractère distinctif. Nous préciserons ses limites géognostiques en disant que les formations intermédiaires s'étendent depuis les premiers schistes charbonneux inclusivement jusqu'à la grande couche marneuse et cuprifère qui forme, au centre de l'Allemagne, l'assise inférieure du plus ancien des calcaires secondaires.

Les limites des terrains secondaires, de l'autre part, vont jusqu'à la couche de craie qui fait le sol de la partie septentrionale de la France et de la partie méridionale (au sud-est) de l'Angleterre. Au-dessus, on a l'alternative de formations marines et de for-

mations d'eau douce qui constitue les terrains tertiaires.

Au-dessus de ceux-ci on n'a plus que des bancs de matières meubles, consistant en pierres roulées, graviers, sables et terres, et que nous désignons sous le nom de terrains de transport.

Ainsi, en définitive, nous partagerons les terrains en deux grandes sections : les terrains proprement dits et les terrains *ignés* : les premiers se sous-diviseront en cinq classes, lesquelles, en suivant l'ordre de leur ancienneté, seront les terrains *primitifs*, *intermédiaires*, *secondaires*, *tertiaires* et de *transport*.

Nous avons suivi cette division dans la première édition de cet ouvrage, nous la conserverons dans celle-ci, parce qu'elle est entièrement prise dans la nature des choses, et dans l'esprit de la science que nous traitons. Nous conserverons également les anciennes dénominations, parce qu'elles sont consacrées par l'usage général, et parce qu'elles présentent un fait réel et incontestable<sup>(1)</sup>, l'âge relatif, principe fondamental de tout classement géognostique.

---

(1) Il est vrai que certains géologues ont élevé des doutes sur l'exactitude de ce fait, disant que l'ordre de superposition des couches n'était pas celui de leur ancienneté relative, et que les couches supérieures étaient plus anciennes que celles qui étaient au-dessous. Ainsi, à la butte de Montmartre, formée incontestablement



Ce classement et cette nomenclature sont généralement adoptés par les auteurs. M. Beudant les a conservés dans un *Traité de minéralogie*, où certes il ne s'est pas montré imitateur. On les retrouve dans l'*Essai sur le gissement des roches dans les deux hémisphères*, publié par M. de Humboldt.

§. 156. Toutefois, dans ces derniers temps, on a proposé des divisions et dénominations différentes, et que la juste célébrité de leurs auteurs me porte à consigner dans ce *Traité* sur l'état actuel de nos connaissances en géognosie.

M. Conybeare, en tête de sa description géologique de l'Angleterre (1), ouvrage extrêmement remarquable par le nombre et l'exactitude des faits qu'il contient, ainsi que par le bel ensemble qu'ils présentent, a classé et dénommé les terrains ainsi qu'il suit :

I. ORDRE SUPÉRIEUR . . . . . | Terr. tertiaires.

II. ORDRE SUS-MITOYEN :

- |                                                   |                    |
|---------------------------------------------------|--------------------|
| a) Craie,                                         | } Terr. secondair. |
| b) Sables et argiles,                             |                    |
| c) Calcaires oolithiques avec couches argileuses, |                    |
| d) Nouveau grès rouge et calcaire magnésien.      |                    |

blement d'assises horizontales placées successivement sur les autres, les assises supérieures auraient été formées les premières : une telle idée me paraît tout aussi raisonnable que celle de l'antiquaire qui prétendait que les pyramides d'Égypte avaient été bâties en commençant par leur sommet.

(1) *Outlines of the Geology of England and Wales*, par MM. Conybeare et Phillips; 1822.

|                                                                  |                   |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| III. ORDRE MITOYEN (carbonifère) :                               | } Terr. interméd. |
| a) Terrain houiller,                                             |                   |
| b) Calcaire charbonneux,                                         |                   |
| c) Vieux grès rouge.                                             | } Terr. primitif. |
| IV. ORDRE SOUS-MITOYEN (phyllades).                              |                   |
| V. ORDRE INFÉRIEUR (schiste-micacé,<br>gneis, granite) . . . . . |                   |

On présente ici les terrains dans un ordre inverse de celui que nous avons suivi; on commence par les plus superficiels, par ceux qui nous sont le mieux connus; ce qui peut avoir ses avantages : cependant l'ordre des temps me paraît plus naturel; étant d'ailleurs plus en rapport avec la *généralité* des formations (§. 152), il me paraît plus convenable à un traité général sur la science. Quant aux noms *inférieur*, *sous-moyen*, *moyen*, etc., comparés à ceux *primitif*, *intermédiaire*, *secondaire*, je ne trouve au fond aucune différence; ils expriment la même idée, celle de l'antériorité, et il me semble que les derniers l'expriment avec plus de précision : ils sont en outre plus dans le génie de notre langue.

Cependant M. Brongniart a cru devoir adopter, au moins en partie, cette nomenclature, ainsi qu'une marche semblable; et après une critique outrée de la méthode que nous avons suivie, il a donné, en dernier lieu (1), le tableau suivant des grands groupes de terrains.

(1) *Classification et caractères minéralogiques des roches.* 1827.

Nous indiquons encore ici celles de nos dénominations qui correspondent à celles de l'auteur.

|                                                                                                                  |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| I. TERRAINS DE TRANSPORT,<br>Post-diluviens,<br>Anti-diluviens.                                                  | } Terr. de transp.                     |
| II. TERRAINS DE SÉDIMENT,<br>Supérieurs,<br>Moyens,<br>Inférieurs.                                               | } Terr. tertiaires.<br>} Terr. second. |
| III. TERRAINS PRIMORDIAUX DE SÉDIMENT<br>(ou Terrains semi-cristallisés),<br>Supérieurs,<br>Inférieurs.          | } Terr. interméd.                      |
| IV. TERRAINS PRIMORDIAUX DE CRISTALLISATION (ou Terrains cristallisés),<br>Supérieurs,<br>Inférieurs.            | } Terr. primitifs.                     |
| <i>Terrains hors de série.</i>                                                                                   |                                        |
| V. TERRAINS D'ÉPANCHEMENT,<br>Trachytiques,<br>Basaltiques.                                                      | } Terrains ignés.                      |
| VI. TERRAINS PYROÏDES,<br>Volcaniques anciens,<br>Volcaniques actuels,<br>Pseudo-volcaniques.<br>Atmosphériques. |                                        |

Je ne reviendrai pas sur les raisons qui me portent à ne pas admettre une division des terrains basée sur la qualité de cristallin ou de sédimentaire (§. 154); de plus, cette classification se compliquant encore du principe

de la superposition ou de l'ancienneté relative (car, je le répète, l'ancienneté n'est pas plus hypothétique que la superposition), me paraît perdre de sa simplicité : ce dernier principe seul eût suffi. Le nom de *primordial*, introduit, je crois, par M. Brongniart, avait été employé, tant par lui que par divers auteurs, pour désigner les terrains antérieurs à la première formation des grès : il comprend l'ordre *inférieur* et l'ordre *sous-mitoyen* de M. Conybeare, et c'est dans ce sens que nous l'employons quelquefois dans cet ouvrage.

Remarques  
sur les clas-  
sifications en  
géognosie.

§. 157. Au reste, les divisions que nous avons adoptées, bien qu'elles nous paraissent fondées en principe, n'ont d'autre objet que de faciliter l'étude de la nature, en venant au secours de notre faible intelligence. Car d'ailleurs, et c'est bien ici le cas de le redire, tout se lie et s'enchaîne dans les produits de la nature : les terrains primitifs passent aux terrains intermédiaires d'une manière absolument insensible ; la formation des phyllades git moitié dans les premiers, moitié dans les seconds, c'est-à-dire qu'elle n'était pas entièrement terminée lorsque les êtres organisés ont commencé à paraître : la formation du grès ancien paraît être également en partie dans les terrains intermédiaires et en partie dans les terrains secondaires, surtout lorsqu'on comprend la grande formation de houille dans ces derniers. Ne séparons pas d'une manière absolue et tranchée ce que la nature n'a fait que nuancer, et ne soyons pas plus exacts qu'elle, si nous voulons la faire connaître telle qu'elle est réellement. Luttons même contre cette tendance qui nous porte à simplifier en idée les objets naturels pour nous les représenter d'une manière plus aisée à saisir ; on satisfait bien ainsi son esprit, mais on s'éloigne trop souvent de la réalité. Après

avoir entendu pour la première fois les leçons de Werner sur la géognosie, j'en éloignai tout ce qui me paraissait vague, et je me fis, sur les divers points de la science, des idées où tout était net, exact et précis; mais lorsque j'allai ensuite observer la nature, je n'y trouvai plus rien qui répondit à ces idées; et je vis bientôt que Werner, loin d'avoir été trop vague, ne l'avait pas même été assez. On serait peut-être fondé à me faire un tel reproche, celui de n'avoir pas été assez vague dans ce Traité; et cependant je serai accusé d'y avoir mis moins de précision qu'on n'en trouve dans les autres livres de géognosie: historiens de la nature, c'est son histoire et non celle de nos conceptions que nous avons à écrire.

Cette considération me conduit encore à une autre remarque. Dans les règnes organiques, une classification qui, par ses divisions et sous-divisions, conduit à la connaissance du nom et des caractères des vingt ou trente mille races ou espèces que présente chacun de ces règnes, doit être d'une importance majeure, je le sens. Je n'ai plus senti autant cette importance en minéralogie, où il n'y a guère que deux cents espèces. Que sera-ce en géognosie, où il n'y a point d'espèces réelles, où l'on n'a pas trente formations généralement reconnues, où l'on n'a pas quarante ou cinquante roches portant un nom particulier? Aussi, toutes les classifications de roches que je vois paraître depuis quelques années, me semblent, à moi qui d'ailleurs puis me tromper, des œuvres plus nuisibles qu'utiles dans l'intérêt de la science: elles y compliquent ce qui était simple, elles détournent l'esprit de l'objet principal, la connaissance des faits, pour l'occuper longuement d'un accessoire; les nomenclatures dont on les accompagne ne font que surcharger la mémoire de mots sans apprendre plus de choses (1). La vraie philosophie

(1) Si en général les auteurs des classifications et des nomenclatures y tiennent tant, ne serait-ce pas en partie pour avoir la satisfaction de faire parler, à autrui la langue qu'ils ont inventée? peu de choses semblent aussi satisfaisantes pour l'amour-propre. C'est ainsi que je m'exprimais, il y a plusieurs années, au sujet de nouvelles nomenclatures en minéralogie.

d'une science me paraît être celle qui mène le plus directement à son but. Cherchant ici à aller aussi droit que possible à celui que nous pouvons espérer d'atteindre, après avoir disposé les grandes masses minérales dans un ordre naturel (§. 155), je me suis attaché, par-dessus tout, à rechercher ce qui pouvait nous conduire à des notions sur leur essence, ainsi que sur les circonstances et le mode de leur production.

Remarques  
sur la divi-  
sion des ter-  
rains en  
formations.

§. 158. Les formations, d'après ce qui a été dit, sont comme les unités de la constitution minérale du globe terrestre; elles seront ainsi en géognosie ce que les espèces sont en histoire naturelle: et divisant maintenant les classes que nous venons d'établir en espèces, nous aurons à diviser les terrains en formations. Mais, dans l'état actuel de la science, cette seconde division est bien plus embarrassante que la première: à peine avons-nous quelques formations qui soient bien caractérisées et limitées; sur la plupart des autres nous n'avons que des aperçus. Là, où dans les vingt couches, par exemple, que présentera une contrée, un observateur ne verra que trois formations; un autre, prenant en considération les différences notables que présentent les diverses parties de chacune d'elles, en établira six ou sept.

Les formations les plus récentes, celles des terrains tertiaires, sont en général assez bien distinctes, mais elles semblent purement locales, et ailleurs, sur le même parallèle ou plan géognostique, on ne les retrouve plus, ou au moins avec les mêmes caractères. A

mesure qu'on s'enfonce dans l'intérieur de la terre, elles prennent, il est vrai, plus de généralité (§. 152), mais leurs traits distinctifs s'oblitérent ou se compliquent. Enfin, dans les terrains primordiaux, lorsqu'elles sont devenues générales, on ne sait plus où placer les lignes de démarcation. Après avoir observé, pendant quatre ans, les granites, les gneis, les schistes de diverse sorte, les serpentines, les calcaires, etc., qui composent, dans le pays d'Aoste, le revers méridional des grandes Alpes, j'ai vu ces roches s'engrener si diversement, et leurs couches alterner si diversement, présentant, en un point, au-dessus d'une d'elles, l'espèce de roche qui était au-dessous un peu plus loin, qu'il m'a été impossible de voir, dans leur ensemble, autre chose qu'un seul et même tout, une seule et même formation. Je ne saurais trop comment réfuter victorieusement l'opinion de celui qui ne voudrait voir qu'une seule et même formation dans les terrains primitifs considérés en général; et cependant j'ai cru mieux faire en faisant quatre sections dans ces terrains.

Dans un tel ordre de choses, je ne saurais présenter, avec quelque confiance, un état général des formations minérales; je répugnais même à tenter d'élever un édifice sur des fondements à la solidité desquels je ne saurais croire, et qui n'aurait ainsi qu'une

existence absolument éphémère. Je me bornerai en conséquence à indiquer, à la tête de chacun des chapitres consacrés à une classe de terrains, les divisions qu'on a essayées dans cette classe et celles que je crois devoir adopter. Toutefois, et comme monument historique, je donne ici le tableau des formations, dressé par le savant qui était le plus propre à hasarder une pareille esquisse, M. de Humboldt, savant distingué par la multiplicité de ses propres observations, par une vaste érudition qui l'a familiarisé avec les observations d'autrui, par son esprit, et par la très-grande facilité avec laquelle il rapproche des faits éloignés.

#### TERRAINS PRIMITIFS.

- I. Granite primitif.  
Granite et gneis primitifs.  
Granite stannifère.  
Eurite (*Weisstein*) avec serpentine.
- II. Gneis primitif.  
Granites postérieurs au gneis et antérieurs au schiste-micacé.  
Syénite primitive ?

[Les cinq dernières formations, placées entre le gneis et le schiste-micacé primitifs, sont des formations parallèles.

- Serpentine primitive ?  
Calcaire primitif ?
- III. Schiste-micacé primitif.  
Granite postérieur au schiste-micacé et antérieur au phyllade (*Thonschiefer*).



Gneis postérieur au schiste-micacé.

Diabase schisteuse (*Grünsteinschiefer*).

IV. Phyllade (*Thonschiefer*) primitif.

Quartz en roche primitif (avec des masses de fer oligiste métalloïde).

Granite et gneis postérieurs au phyllade.

Porphyre primitif.

[Les quatre dernières formations sont des formations parallèles entre elles, quelquefois même au phyllade primitif.]

TERRAINS INTERMÉDIAIRES.

I. Calcaire grenu talqueux, schiste-micacé intermédiaire et traumate (*Grauwacke*) avec anthracite.

II. Porphyres et syénites intermédiaires recouvrant immédiatement les roches primitives; calcaire noir avec diabase (*Grünstein*).

III. Phyllade (*Thonschiefer*) intermédiaire renfermant des traumates (*Grauwacke*), des diabases (*Grünstein*), des calcaires noirs, des syénites et des porphyres.

IV et V. Porphyres, syénites et diabases (*Grünstein*) postérieurs au phyllade intermédiaire, quelquefois même au calcaire à orthocératites.

VI. Euphotide intermédiaire.

TERRAINS SECONDAIRES.

I. Grand dépôt de houille, grès rouge et porphyre secondaire (avec amygdaloides, *grünstein* et calcaires intercalés).

TERRAINS (exclusivement)  
VOLCANIQUES.

I. Formations trachytiques.

Trachytes granitoïdes et syénitiques.

Trachytes porphyriques

**Quartz en roche secondaire.**

[Cette dernière formation est parallèle au grès houiller.]

**II. Zechstein** ou calcaire alpin (*magnesian limestone*) ; gypse hydraté ; sel gemme.

[Les cinq formations suivantes, très-inégalement développées, peuvent être comprises sous le nom général de]

**III. Dépôts arénacés et calcaires** (marneux et oolithiques), placés entre le *zechstein* et la craie, et liés à ces deux terrains.

**Argile et grès bigarré** (grès à oolithes ; grès de Nebra ; *new red sandstone* et *red marl*) avec gypse et sel gemme.

**Muschelkalk** (calcaire coquillier ; calcaire de Gœttingue).

**Quadersandstein** (grès de Kœnigstein).

**Calcaire du Jura** (*lias*, marnes, et grands dépôts oolithiques).

**Grès et sables ferrugineux, et grès et sables verts** (*Ironsand* et *Greensand*).

**IV. Craie.**

(feldspathiques et augitiques).

**Phonolites des trachytes.**

**Trachytes semi-vitreux.**

**Perlites avec obsidienne.**

**Trachytes avec menlières, celluleuses et avec nids siliceux.** (Conglomérats trachytiques et ponceux, avec aluinite, opale et bois opalifié).

**II. Formations basaltiques.**

**Basaltes avec olivine, augite et un peu d'amphibole.**

**Phonolites des basaltes.**

**Dolerites.**

**Amygdales** (*Mandelstein*) celluleux.

**Argile avec grenats-pyropes.** (Cette petite formation semble liée avec l'argile à lignites des terrains tertiaires sur lesquels sont souvent répandues des couches de basalte).

**Conglomérats et scories basaltiques.**

**III. Laves sorties d'un cratère volcanique.** (Laves anciennes, larges nappes, généralement abondantes en feldspath. Laves modernes

## TERRAINS TERTIAIRES.

I. Argile et grès tertiaire à lignites (argile plastique, molasse et *Nagelfluhe* d'Argovie).

II. Calcaire de Paris (calcaire grossier ou calcaire à cérites, formation parallèle à l'argile de Londres et au calcaire arénacé de Bognor).

III. Calcaire siliceux, gypse à ossements, alternant avec des marnes (gypse de Montmartre).

IV. Grès et sables supérieurs au gypse à ossements (grès de Fontainebleau).

V. Terrain lacustre avec meulrières poreuses, supérieur au grès de Fontainebleau (calcaire à lymnées).

à courants distincts et de peu de largeur. Obsidiennes des laves et ponces des obsidiennes).

IV. Tufs des volcans avec coquilles. (Dépôts de calcaire compacte, de marne, d'argile avec lignites, de gypse et d'oolithes, superposés aux tufs volcaniques les plus modernes. Ces petites formations locales appartiennent peut-être aux terrains tertiaires. Plateau de Riobamba; îles de Fortaventura et de Lancerote).

Avant de terminer nos considérations générales sur les changements qui se sont successivement opérés dans la production des formations, nous allons chercher à donner, par deux exemples, une idée précise de ces changements, soit d'une formation à celle

SUITES  
DE FORMATIONS.

qui la suit immédiatement, soit d'une formation de certaine nature minéralogique aux autres formations de même nature, mais de différents âges.

Lorsque la cause qui a produit les diverses formations, n'a varié, dans sa nature, que d'une manière entièrement graduelle, les productions des diverses époques, c'est-à-dire les formations, passent les unes aux autres d'une manière insensible, et elles présentent une *suite* continue : sa division en différents termes est presque arbitraire, et il n'y a pas de limite positive entre eux. Mais, lorsque les variations n'ont plus été aussi nuancées, que la cause a produit et reproduit, à diverses reprises, et au milieu de couches différentes, la même espèce de roche, ces divers dépôts présentent encore une autre *suite de formations* ; mais ici les termes sont bien distincts par leur gissement. Parmi les exemples de chacune de ces sortes de suites que donne Werner, les deux suivants montreront les deux espèces de changements susmentionnés.

Suite  
des schistes.

§. 159. Le premier présentera la suite que Werner a nommée provisoirement *suite des schistes* : c'est la plus étendue et la plus remarquable de toutes. Au milieu de la série est le schiste-phyllade : d'un côté, on remonte jusqu'au granite ; de l'autre, on descend jusqu'au terrain houiller. Les plus anciens phyllades, observés avec soin, paraissent n'être

qu'un assemblage de paillettes de mica extrêmement fines, entremêlées de points quartzeux : dans l'époque immédiatement antérieure, les paillettes et les points augmentent de grandeur, et l'on a des feuilletts de mica entremêlés de lames et grains de quartz; c'est le schiste-micacé : en remontant encore vers les temps plus anciens, on voit le feldspath se joindre à ce mélange, le mica diminuer en quantité, et l'on a du gneis; enfin, le mica continuant à diminuer et le feldspath à augmenter, on arrive au granite, dont la texture devient de plus en plus grenue, et le grain de plus en plus cristallin. Dans la partie inférieure de la série, on voit le phyllade perdre l'éclat qu'il tenait du mica; ses feuilletts deviennent plus épais et leur tissu plus terreux : bientôt après, on le voit noircir en s'imprégnant de carbone; il présente quelques empreintes de végétaux, et il est, par conséquent, déjà dans les terrains intermédiaires : il y alterne avec le premier précipité mécanique que l'on trouve en suivant l'âge des formations, le *traumate* (*Grauwacke*), et ces deux roches, en se mélangeant, forment le schiste-traumate (*Grauwackenschiefer*). De là à la formation houillère il n'y a plus qu'un pas; quelques minéralogistes même, frappés de la ressemblance entre les terrains traumatiques et les terrains houillers, les regardent comme constituant une seule et même

formation : il n'y a aucune différence minéralogique entre certains grès de houillères et certains traumatés.

Quelque diversité qu'il y ait entre les extrêmes de cette suite, entre le granite et le terrain houiller, on ne peut cependant méconnaître la progression d'intermédiaires qui les lie, et qui indique évidemment qu'ils sont tous les effets d'une même cause, qui a graduellement et peu à peu changé de nature, et dont les produits ont passé insensiblement de l'état cristallin à l'état mécanique le plus grossier.

Suite  
des calcaires.

§. 160. Le calcaire va nous offrir l'exemple le mieux caractérisé des suites de la seconde espèce. Nous trouvons cette roche jusque dans les gneis et dans les granites; elle existe en grande quantité dans les schistes-micacés et dans les phyllades; elle abonde dans les terrains intermédiaires, et elle constitue la majeure partie des secondaires; enfin on la retrouve encore formant des tufs grossiers au milieu des derniers terrains.

Dans ces divers gisements, elle porte l'empreinte de l'époque à laquelle elle a été formée. Le calcaire que nous voyons dans les granites, les gneis et les schistes-micacés, est en général à grains lamellaires, translucides et d'une belle blancheur; en un mot, il porte tous les indices d'une formation bien pure et bien cristalline. Dans les schistes subséquents,

il prend un grain plus fin, il est moins translucide, moins blanc, et se laisse colorer par des substances étrangères, et principalement par celle des schistes, avec laquelle il se mêle assez souvent. Ces mélanges augmentent encore dans les terrains intermédiaires; sa cassure prend plus de compacité, on y trouve pour la première fois des débris de mollusques; sa couleur devient bigarrée et il forme nos marbres colorés. Dans les terrains secondaires, il est habituellement compacte, à cassure conchoïde ou écailleuse, faiblement translucide sur les bords : il y est assez ordinairement mêlé de plus ou moins de terre ou de sable; il contient une grande quantité de débris d'êtres organiques : enfin, dans les dernières époques de ces formations, dans les craies et les calcaires grossiers, sa cassure devient terreuse et opaque; il se charge fréquemment d'une grande quantité d'argile, et il forme ainsi des marnes, où l'argile devient, à son tour, le principe dominant. Quelle différence entre les termes extrêmes de cette suite, entre le beau marbre de Paros ou de Carrare, et la craie ou le tuf calcaire! c'est cependant la même substance, le carbonate de chaux; et chaque terme n'est différencié que par le caractère de l'époque à laquelle il appartient.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

## NOTES.

---

### NOTE I.<sup>re</sup>

#### *Définition de la géognosie par Werner et de son rang dans les sciences naturelles.*

QUOIQUE la définition que Werner donne de la géognosie, en allemand, ne soit guère susceptible d'une exacte traduction française, j'en hasarderai cependant la traduction presque littérale, en disant :

*La géognosie est la partie de la minéralogie qui nous fait connaître, dans un ordre méthodique, le globe terrestre en général, et surtout qui nous fait connaître, d'une manière particulière, les GITES DE MINÉRAUX qui le composent : elle expose leurs rapports, leur manière d'être, ainsi que celle des minéraux qui les constituent, et finalement elle peut nous conduire à des notions sur leur formation.*

« Les gîtes de minéraux (que nous avons appelés *systèmes des masses minérales*, dans ce traité), continue Werner, sont les espaces souterrains dans lesquels les minéraux ont été formés et dans lesquels ils se trouvent. Ils sont *généraux* ou *particuliers* : les premiers sont ces grandes masses minérales d'une étendue indéfinie, et dont l'ensemble forme la partie solide du globe terrestre ; les seconds sont ou des parties des premiers, ou ils sont renfermés dans leur masse. » Les gîtes généraux sont nos terrains ou nos formations, et les gîtes particuliers sont les filons et autres gîtes de minéral.

Ainsi, d'après Werner, un traité de géognosie doit être l'exposé de nos connaissances sur le globe en général, et principalement sur les gîtes minéraux ; cette dernière partie con-



cerne la *constitution minérale* du globe, et nous avons compris ce qui était relatif à la première sous le nom de *constitution physique*. Il est superflu de rappeler que, dans un ouvrage de la nature de celui-ci, lorsqu'on parle de nos connaissances sur le globe, il ne s'agit que de connaissances générales : ce qui tient à chaque localité est l'objet de la géographie (physique et minéralogique).

Jetons, avec Werner, un coup d'œil sur la place qu'occupe la géognosie dans les sciences naturelles.

La science de la nature, dit ce savant, se divise en deux grandes sections : celle qui a pour objet la connaissance des corps considérés en eux-mêmes ; c'est l'*histoire naturelle* : et celle qui traite des propriétés des corps en général, abstraction faite des corps qui les présentent ; c'est la *science des propriétés*, ou la *physique*, en prenant ce dernier mot dans son acception la plus étendue.

Peut-être caractériserai-je mieux la *physique*, en disant qu'elle traite de l'action des corps les uns sur les autres, des effets ou phénomènes qui résultent de cette action, et des lois que la nature suit dans la production de ces phénomènes. Lorsque, par suite de l'action réciproque des corps, l'aggrégation entre leurs principes composans est détruite, on a la branche de la physique connue sous le nom de *chimie*.

Les corps terrestres, objets de l'histoire naturelle, sont *organiques* ou *inorganiques* ; les premiers se distinguent en *animaux* et *végétaux*, et les seconds en *minéraux* et corps *atmosphériques* ; ces derniers, à l'état fluide ou gazeux, enveloppent la masse solide du globe, et les minéraux constituent cette masse. De là les quatre sections de l'histoire naturelle, le *règne animal*, le *règne végétal*, le *règne minéral* et le *règne atmosphérique*. Bergmann avait déjà senti la nécessité de séparer ce dernier règne du règne minéral ; et son opinion à cet égard, adoptée par Werner et par quelques autres savants, me paraît devoir être admise ; l'eau et les divers gaz ne sont pas des minéraux.

La minéralogie est donc la partie de l'histoire naturelle qui a pour objet la connaissance complète des minéraux. Elle peut considérer dans chacun d'eux, 1.<sup>o</sup> ce qui constitue son

essence spécifique; c'est la composition chimique indiquant la nature, la quantité et le mode de combinaison de ses principes constituants; 2.<sup>o</sup> ses propriétés et caractères, principalement ceux par lesquels ils frappent nos sens, et à l'aide desquels nous les distinguons les uns des autres; 3.<sup>o</sup> les circonstances de leur gissement, et le rôle qu'ils jouent dans la constitution du globe : voilà les trois branches essentielles de la minéralogie, auxquelles Werner donne le nom de *minéralogie chimique*, d'*orictognosie* et de *géognosie*. On peut encore rechercher dans les minéraux, les lieux dans lesquels on les trouve, ou les parties de la terre qu'ils constituent, et les usages auxquels l'homme les emploie, avec les moyens de les y adapter : de là la *minéralogie géographique* et la *minéralogie économique* ou *technologique*. Werner complète enfin toutes les connaissances à acquérir dans le règne minéral, par l'*histoire littéraire de la minéralogie et des divers minéraux*, et par l'*art de choisir les échantillons de minéraux*, et de les disposer en collections.

## NOTE II.

### *De l'épaisseur de la croûte du globe connue aux minéralogistes.*

Si les couches minérales qui forment le globe terrestre étaient toujours horizontales, on aurait l'épaisseur de la partie qui nous en est connue, par la différence de niveau entre le point le plus profond auquel on serait parvenu dans l'intérieur de la terre, et le point le plus élevé que l'on aurait atteint sur les montagnes.

Voyons quelles sont ces profondeurs et ces élévations.

Agricola rapporte, dans son *Bermanus*, que les puits de mine les plus profonds sont à Kuttenberg en Bohême, et qu'ils ont cinq cents *lachter* (environ mille mètres) : on ignore la position de ces puits et la hauteur de leur orifice au-dessus de la mer, et par conséquent la différence du niveau entre leur extrémité inférieure et la mer. A *Kitzpühl*, en Tyrol,

l'exploitation descendait également jusqu'à mille mètres: Oppel, directeur des mines de Freyberg, dit, dans sa *Géométrie souterraine* (S. 558), qu'un voyageur lui a assuré qu'il existait des puits encore plus profonds aux mines de cuirre de Rohrhübel en Tyrol; mais il ne donne aucun détail à ce sujet; et ces puits, situés dans un pays élevé, ne devaient pas descendre beaucoup au-dessous du niveau de la mer, si toutefois ils l'atteignaient. D'après Delius, on a, en Hongrie, des puits de six cents mètres (S. 52). C'est également la plus grande profondeur qu'aient jamais atteinte les travaux aux mines de Freyberg (1); ceux qui y sont maintenant ouverts ne vont qu'à 414 mètres, et leur fond ne descend pas à plus de trente mètres au-dessous du niveau des mers. C'est encore à six cents mètres (312 *luchter*) que sont descendus les travaux les plus profonds au Hartz: aujourd'hui, tant à Clausthal qu'à Andreasberg, ils ne vont qu'à cinq cents mètres, et ils sont tous au-dessus du niveau de l'Océan. Il en est de même pour les mines vraisemblablement les plus profondes qu'on ait eues en France, celles de Giromagny, dans les Vosges; le fond en était à 359 mètres au-dessous du niveau d'une galerie d'écoulement qui débouchait à peu de distance dans la vallée: Giromagny est à environ 470 mètres au-dessus de la mer (2). Ce sera ainsi dans les parages peu éloignés des côtes, dans les houillères de l'Angleterre et de la Flandre, que nous trouverons de plus grandes profondeurs réelles. A Whitehaven, dans le Cumberland, on a des travaux qui s'avancent à mille mètres sous la mer et qui sont à plus de deux cents mètres au-dessous de son lit. Aux mines d'Anzin, près de Valenciennes, je suis descendu à trois cent cinquante mètres de profondeur, et je me trouvais alors à plus de trois cents au-dessous de la surface de l'Océan; j'y étais peut-être à la plus grande profondeur absolue que les hommes aient atteinte. Quelques auteurs, il est vrai, disent que les travaux des mines de Namur sont descendus à sept

(1) *Mineralogische Geographie der Chursächsischen Länder.*

(2) *Journal des mines*, tom. 7, pag. 224, et tom. 18, pag. 420.

### 588 CROÛTE DU GLOBE CONNUE AUX MINÉR.

cents mètres; mais ce fait n'est pas positif, et rien n'indique que nous nous soyons enfoncés sous terre à quatre cents mètres au-dessous du niveau des mers.

Les hauteurs que nous avons atteintes au-dessus du même niveau, sont bien plus considérables. Saussure, sur la cime du Mont-Blanc, la plus haute montagne de l'Europe, était à 4775 mètres d'élévation. M. de Humboldt est monté sur le Chimborazo dans le Pérou, jusqu'à 5900 mètres, et personne, du moins encore, n'a été plus haut : le sommet de cette montagne, le plus haut point du nouveau continent, était encore à 600 mètres au-dessus de lui. Le centre de l'Asie, sur le faite de la chaîne qui sépare l'Inde de la Tartarie, présente bien des montagnes qui s'élèvent jusqu'à 7848 mètres; mais personne n'en a atteint les sommités.

Ainsi la plus grande différence du niveau parcourue par l'homme sur la terre serait de 6300 (5900 + 400); c'est près de la millième partie du rayon de la terre, lequel est de 6366407 mètres, terme moyen.

Mais il faut observer que le Chimborazo est un prodnrit volcanique superposé à la masse du globe postérieurement à sa formation, et que la cime du Mont-Blanc est le point le plus élevé de cette masse que nous ayons encore reconnu. De plus, les couches qui composent la croûte du globe étant habituellement inclinées, la hauteur verticale à laquelle on s'élève ne représente pas l'épaisseur de l'ensemble des couches du terrain correspondant à l'élévation, cette épaisseur devant être prise perpendiculairement aux couches. Nous pouvons donc pleinement affirmer que l'épaisseur de la partie du globe reconnue par les minéralogistes n'est pas la millième partie du rayon terrestre.

## NOTE III.

*Nature de la fluidité des masses minérales.*

*Vidi ego . . . . . tellus  
Esse fretum. Vidi factas ex æquore terras;  
Et procul à pelago conchæ jacuere marinæ.*

OVIDE.

Les diverses masses et couches qui composent l'écorce minérale du globe terrestre ont été fluides : le fait n'est pas contesté et il est incontestable ; ainsi nous ne nous arrêterons pas sur ce point, et nous ne répéterons pas ce que nous avons dit ailleurs.

Mais la fluidité peut avoir été de deux sortes : ou toute cette écorce, pénétrée par le calorique, a été fluide en même temps, comme un métal fondu, et elle s'est ensuite consolidée par le refroidissement ; c'est la *fluidité ignée* : ou bien les molécules minérales ont été dissoutes ou suspendues dans une dissolution dont elles se sont précipitées successivement, et elles ont ainsi formé les diverses couches ; c'est ce qu'on nomme la *fluidité aqueuse* ; quelle que soit d'ailleurs la nature du fluide : le cas d'une fluidité gazeuse pourrait rentrer dans ce dernier. Voyons maintenant si l'examen des couches minérales ne donnerait pas quelques lumières sur la nature de leur fluidité primitive. Commençons par les terrains les plus nouveaux.

Il est inutile de faire mention des terrains volcaniques ; ce n'est point d'eux qu'il s'agit ici : leur seule dénomination indique le mode de formation.

Nous ne parlerons pas non plus des terrains d'alluvion ou de transport ; leur nom seul désigne encore leur origine : ce sont de simples débris de roches préexistantes chariés et étendus par les eaux sur les lieux où on les trouve.

Les terrains tertiaires et secondaires sont principalement

composés de couches de calcaire, de gypse, de grès et poudingue, de sable et d'argile, lesquelles alternent diversement entre elles.

Les couches calcaires contiennent presque toutes des vestiges d'animaux vivant dans le sein des eaux, et particulièrement des coquilles. Si quelques-unes n'en présentent que très-peu, d'autres en sont presque entièrement composées. Ces coquilles s'y trouvent quelquefois brisées et entassées pêle-mêle; mais le plus souvent elles sont disposées dans un certain ordre: chaque couche, et même chaque strate, a ses familles et ses espèces particulières; elles y sont étendues par lits, ordinairement couchées sur leur plat, parfaitement conservées, présentant leurs dentelures, leurs aiguillons absolument intacts, et ayant quelquefois l'éclat nacré qu'elles présenteraient si on venait de les sortir de la mer. A cet aspect il est impossible de ne pas conclure que les êtres qui habitaient ces coquilles vivaient dans le lieu même où nous trouvons leurs vestiges, qu'ils y ont été surpris et enveloppés par la matière calcaire, laquelle est venue, non sous la forme d'un courant, car elle aurait alors brisé ces écailles si délicates, mais en se déposant tranquillement sur le fond des mers. Elle sera devenue dure et lithoïde, à peu près comme le deviennent, au fond des dissolutions, dans nos usines, certains *magma* ou masses salines très-confusément cristallisées. La consolidation de ces couches ne saurait être l'effet d'une fusion suivie du refroidissement; car les coquilles, également calcaires, se seraient fondues et mêlées dans la masse, et elles n'auraient pas repris, par le refroidissement, leurs aiguilles pointues, leurs stries délicates, et quelquefois jusqu'à leur éclat nacré.

Les couches gypseuses, contenant, en quelques contrées, des ossements de quadrupèdes intacts et bien conservés, nous indiqueront encore une formation ou un dépôt fait tranquillement dans le sein des eaux.

La seule présence des couches de sable et d'argile dans un terrain suffit pour caractériser le mode de sa formation. L'observation de tous les jours nous fait connaître la manière dont elles se forment et dont elles peuvent se former.

Il en sera exactement de même des couches de grès et de poudingue, qui ne sont, dans le fait, que des bancs de sables et de galets apportés et étendus par les eaux, et agglutinés ensuite par un ciment, lequel s'est infiltré dans les interstices : il s'y sera déposé et consolidé comme le fait celui qui agglutine, près de Messine, les sables de la mer actuelle assez fortement pour en faire des pierres meulières (§. 59).

La disposition des couches des terrains tertiaires et secondaires, indépendamment de toute autre considération, suffirait seule pour déceler leur mode de formation. Qu'on arrête un instant son attention sur un terrain composé de couches de calcaire, de marne, d'argile, de gypse, de sable, etc., minces, très-étendues en longueur et largeur, horizontales ou presque horizontales, alternant entre elles diversement et à plusieurs reprises, ainsi que cela a lieu aux environs de Paris; on ne pourra s'empêcher de voir en elles autant de sédiments formés au sein d'une grande masse d'eau par des molécules qui se déposaient sur le fond. Ces dépôts seront évidemment successifs, et quelquefois la différence dans leur nature, ou dans les coquilles qu'ils contiennent, portera à penser qu'il s'est écoulé un temps notable entre eux. En voyant ensuite plusieurs de ces coquilles avoir de grands rapports avec celles qui vivent maintenant dans l'Océan, il sera permis de croire que les mers dans lesquelles se sont formées les couches qui les renferment, étaient, quant à la nature de leurs eaux, et à de certaines époques, peu différentes des mers actuelles.

Ainsi, il y a peu de faits, en histoire naturelle, établis sur d'aussi fortes preuves, que la formation des terrains tertiaires et secondaires au sein d'un fluide aqueux.

Il en est absolument de même des terrains immédiatement antérieurs, les étages supérieurs du sol intermédiaire. Ici, plus encore que partout ailleurs, on a d'énormes assises de pierres roulées (conglomérats), de brèches, de grès, d'argiles schisteuses, alternant fréquemment avec de nombreuses couches de houille, et aucune substance plus que celle-ci ne dépose en faveur de la formation aqueuse. Presque tous les

naturalistes la regardent comme un produit de la décomposition des végétaux, et principalement de végétaux aquatiques. Ils ont laissé une multitude d'empreintes de leurs branches, et surtout de leurs feuilles, sur l'argile qui avoisine la houille. Ces feuilles, ainsi que de nombreuses fougères, y sont presque toujours étendues à plat; et leur position, ainsi que leur forme, montre qu'elles n'ont été ni brisées, ni froissées: le plus souvent elles paraissent avoir nagé dans le fluide, et s'être ensuite tranquillement déposées au fond, avec la terre et le sable qui les renferment.

Entre les assises d'un terrain aussi manifestement formé dans les eaux, on trouve des masses ou couches de porphyre: elles y alternent souvent avec des couches de poudingue et de grès; elles présentent une telle analogie dans leur nature, que des minéralogistes pensent que ces porphyres sont formés de la même matière que le ciment des poudingues et grès environnants; ils auraient ainsi une même origine. Il y a peut-être moins de probabilité pour quelques masses ou grandes tables de roches amygdaloïdes qu'on rencontre aussi dans ces mêmes grès antiques, et que des géologues regardent comme des coulées volcaniques qui se seraient répandues, dans le sein même des mers, sur les conches arénacées lors de leur formation, ou se seraient intercalées entre elles: dans tous les cas, les doutes élevés sur l'origine de ces amygdaloïdes ne sauraient s'étendre sur l'origine des conches qui les renferment; celle-ci est incontestable.

Ce système de couches se lie et s'enchaîne indissolublement à celui qui est au-dessous, c'est-à-dire à l'étage inférieur des terrains intermédiaires. Ici nous retrouvons des couches calcaires renfermant encore des vestiges d'êtres marins, mais en moindre quantité que dans les terrains secondaires, et ayant moins de rapport avec les êtres actuellement existants; l'état des choses, la nature des mers, etc., ont éprouvé des changements. Nous aurons encore ici une grande quantité de grès, et ils nous fourniront les mêmes conséquences. Au milieu d'eux, nous trouverons des brèches à fragments anguleux, dont l'examen ne nous permettra point d'admettre d'autre mode de consolidation que la cristallisa-



tion ou le dessèchement; toute idée de l'action du feu est ici éloignée. Quel est le géognoste qui n'a vu, dans les terrains traumatiques (*grauwacke*), comme dans les houillères, des couches d'un grès à grain fin et très-quartzeux, contenant une grande quantité de fragments de schiste, minces, anguleux et comme de simples feuilletés? Leur forme et leur nature montrent évidemment que la roche qui les contient n'a jamais éprouvé de fusion ou de demi-fusion : si elle en eût éprouvé une assez forte pour agglutiner ses grains quartzeux, les fragments ne présenteraient plus des bords aigus et inaltérés; ils seraient fondus : le schiste est fusible, tandis que le grès est réfractaire au point d'être employé de préférence à toute autre pierre pour la construction du creuset des hauts-fourneaux à fondre les minerais de fer.

Les couches de traumatite (*grauwacke*), contenant quelquefois même des débris d'animaux marins, alternent avec des phyllades portant souvent des impressions de plantes, et qui alternent à leur tour, dans la même contrée, soit immédiatement, soit médiatement, avec des couches de schistomicaé, de gneis, de quartz, de feldspath, de diabase, de syénite et peut-être même de granite. Des montagnes ainsi composées renferment souvent de riches filons métalliques, en Bretagne, par exemple.

Nous voilà déjà, sans quitter nos grès et poudingues, nos calcaires coquilliers et nos schistes à impressions, au milieu des schistes-micaés, des gneis, des feldspaths, des syénites, etc., en un mot, nous voilà presque au milieu des terrains primitifs. Ceux-ci ne seront plus que le prolongement des autres : seulement il n'y aura plus, dans ce prolongement, de débris d'êtres organiques; il y aura à peine quelques fragments de roche, et la structure y sera, en général, plus cristalline; car, d'ailleurs, il y a continuité parfaite (§§. 157 et 159) : dans la nombreuse série des formations minérales, on ne saurait prendre une roche qui ne se retrouve, elle ou une de celles qui la précèdent, dans les formations postérieures. Dans cet enchaînement intime, il est impossible de trouver une séparation réelle : le mode de formation des

couches minérales a été modifié de proche en proche, et avec de fréquents mouvements oscillatoires (§. 150); mais nulle part il n'a été brusquement changé.

Nous avons vu les couches calcaires former une suite non interrompue, depuis les premiers jusqu'aux derniers temps des formations minérales (§. 160). Dans les dernières époques, nous les trouvons remplies de coquilles: à mesure qu'on remonte, en suivant l'ordre des âges, il y en a de moins en moins, et finalement il n'y en a plus. Où s'arrêter, pour couper la suite et pour dire: ce qui est avant a été formé par l'eau, et ce qui est après, l'a été par le feu? il est évident que le mode de formation est le même pour tous les termes de la série. Non-seulement le calcaire alterne avec les autres roches primitives, mais encore il se mêle et s'enlâçe avec elles: le marbre vert de Campan n'est qu'un mélange de calcaire et de schiste-talqueux; le beau *verde antico* n'est qu'un mélange de calcaire et de serpentine; le pic du Midi de Tarbes n'est qu'une masse de calcaire et de schiste-micacé comme pétris l'un avec l'autre: ici, le schiste-talqueux, la serpentine, le schiste-micacé et le calcaire ont incontestablement un seul et même mode de formation.

Les terrains primitifs ne renferment pas une roche que nous n'ayons retrouvée dans les terrains intermédiaires; nous y avons vu les phyllades et même des roches granitiques. Les substances métalliques qui semblent appartenir plus particulièrement aux uns et aux autres, se voient encore dans des terrains secondaires évidemment formés au milieu des mers; à Tarnowitz en Silésie, nous avons une couche de plomb sulfuré au milieu d'un calcaire coquillier; dans le Mansfeld, on exploite une couche cuivreuse qui n'a qu'un ou deux pieds d'épaisseur, il est vrai, mais qui s'étend sur plus de mille lieues carrées, qui présente une multitude d'empreintes de poissons, qui repose sur un poudingue (le *Todt-liegendes*), et qui est recouverte par une assise calcaire pleine, dans quelques endroits, de gryphites armés de leurs aiguillons. Si aujourd'hui les mers ne forment plus ni feldspath, ni plomb, ni cuivre, c'est qu'elles ne contiennent plus les éléments de ces corps, et qu'elles les ont déjà dépo-

sés depuis long-temps : elles ont changé de nature, et par un changement progressif elles sont venues à un point qui nous laisse cependant encore concevoir comment elles ont pu produire nos dernières couches.

Quoique la stratification des terrains primitifs, ne présentant pas une suite de couches horizontales bien distinctes, ne prouve pas aussi évidemment que dans les autres terrains une formation par dépôts successifs, elle n'en ramène pas moins à la même idée. Remarquons d'abord que ce n'est pas tout à coup que les couches ont pris, dans les anciennes formations, la position fortement inclinée qu'on y voit si souvent. Déjà, dans le terrain houiller, l'on a une stratification très-tourmentée et souvent verticale : mais, presque toujours, nous y trouvons des preuves évidentes que les couches ont été formées horizontalement, et que c'est à un relèvement ou à un renversement qu'elles doivent leur position actuelle. Les fragments des roches traumatiques prouvent souvent le même fait pour les terrains intermédiaires ; et, par induction, nous pouvons dire qu'il en sera quelquefois de même dans les terrains primitifs, qui ont d'ailleurs tant d'analogies avec ces derniers : les circonstances et les irrégularités de la stratification, qui sont les mêmes pour les uns et pour les autres, et qui tiennent à une cause ayant agi presque à l'époque de la consolidation des couches (S. 146), indiquent encore une formation analogue. Lorsque, dans la haute région des Pyrénées, on voit une suite et une alternative de couches de granite, de gneis, de phyllade, de calcaire, peu épaisses, se prolonger à de grandes distances, dans une même direction, en conservant leur même épaisseur et leur même disposition ; lorsqu'à Ehrenfriedersdorff, en Saxe, au milieu du schiste-micacé, on voit une couche de fer oxidulé bien prononcée dans sa forme, etc., il me paraît que de pareilles dispositions de roches ne peuvent guère se concevoir qu'en se représentant une suite de dépôts, dont l'un s'est placé sur l'autre, lorsque celui-ci était consolidé en tout ou en partie. Si toutes ces roches eussent été fluides en même temps, par exemple, si toute la croûte minérale eût été en fusion, la matière ne se serait pas ainsi

formée par couches bien distinctes, et souvent elles le sont; l'ordre des pesanteurs spécifiques n'eût pas été interverti au point de placer une couche de plomb sulfuré (pes. 7,6) sur du calcaire (pes. 2,6):

Jugeons par comparaison. Si nous jetons un coup d'œil sur les produits du feu, sur les terrains volcaniques, nous y trouverons d'énormes courants ou masses entassées les unes sur les autres, ou se fondant les unes dans les autres, mais nulle part on n'y verra cette structure par couches de différente espèce, minces, étendues et alternant à diverses reprises entre elles : jamais on n'y verra cette variété, et je dirai même ce contraste qu'on trouve à chaque pas dans les terrains primitifs; on n'y apercevra jamais une couche de calcaire saccharoïde dans du gneis, ou une couche de quartz bien blanc dans un schiste amphibolique bien noir, etc., Poussons la comparaison plus loin, et examinons la nature des masses qui composent les deux sortes de terrains : dans ceux d'origine volcanique, nous aurons quelques laves, il est vrai, telles que les phonolites, qui ressemblent extrêmement à certains porphyres euritiques : nous en verrons quelques autres qui auront bien quelque ressemblance avec des roches granitiques, quoique la différence soit encore sensible; mais, d'un autre côté, nous n'y trouverons rien qui ait le moindre rapport avec les gneis, les phyllades, etc., et encore moins avec les couches de calcaire, de gypse, de quartz, etc.

De telles dissemblances, comme les faits que nous avons rappelés, ne permettent pas d'admettre dans la série de nos couches minérales qu'à une époque le mode de formation était entièrement volcanique, et qu'il a été remplacé par celui qui a produit les terrains secondaires. Il semble plutôt que ce mode, parvenu, par une suite de modifications successives, à opérer, dans les derniers temps, des formations analogues à celles qui se font en quelque sorte sous nos yeux, et dont nous pouvons en conséquence nous faire une idée, est progressivement dérivé de celui qui a produit les terrains primitifs.

Quel était donc, demandera-t-on, ce fluide qui a tenu

en dissolution les principes du feldspath, de la serpentine, du calcaire, du cuivre, etc., en un mot, de tous les minéraux et métaux connus? Qu'est donc devenue la prodigieuse quantité de ce fluide qui a tenu en dissolution la matière de tous les terrains primitifs et secondaires?

Si ce n'est que des faits qui se passent maintenant à notre vue que l'on doit conclure ce qui s'est fait autrefois, j'en conviens, on ne saurait faire une réponse satisfaisante à ces questions. Mais, parce que j'ignore la nature du fluide aqueux qui a tenu le cuivre en dissolution, il n'en est pas moins vrai que la grande couche cuivreuse du Mansfeld, contenant des milliers d'empreintes de poissons, reposant sur un immense banc de pierres roulées, et recouverte par un calcaire plein de gryphites, s'est déposée dans un pareil fluide. Parce que je ne sais pas ce qu'est devenue cette mer qui a jadis recouvert les montagnes les plus élevées, il n'en est pas moins vrai que la plus haute cime des Pyrénées, pétrie de coquilles, s'est formée dans leur sein; il n'en est pas moins positif que cette énorme masse de calcaire alpin, remplie de débris d'animaux marins, ayant plus de quatre mille mètres d'épaisseur, n'a pu être formée que dans un vaste Océan. Voilà les faits; ils existent, ils sont devant nos yeux, et l'ignorance où nous sommes et où nous ne pouvons qu'être de leur cause, ou plutôt de la manière dont elle a agi dans leur production, ne saurait nous empêcher de les admettre avec leurs conséquences.

Cette difficulté, je le dirai même franchement, l'impossibilité de se rendre pleinement raison de la formation des terrains primitifs, lorsqu'on s'en tient à la cause qui a produit les terrains secondaires, a porté plusieurs géologues à abandonner une telle cause et à admettre l'origine ignée des premiers. Cette opinion, embrassée maintenant par un grand nombre de savants, se fonde aussi sur des analogies.

Nous voyons, dit-on, les volcans actuels répandre des laves basaltiques à base de feldspath et renfermant des cristaux de ce minéral. Des terrains aussi évidemment volcaniques, quoique d'une époque antérieure, sont encore formés de basalte et des nombreuses modifications de ce minéral,

au nombre desquelles nous signalerons, et celle où le mica se présente en grandes paillettes hexagones, et la dolérite, roche à structure granitique composée de grains de feldspath, d'augite, d'amphibole; de fer oxidulé, etc. Plus avant dans l'ordre des temps, nous avons des produits de la voie ignée presque entièrement feldspathiques; ordinairement le feldspath y est confusément cristallisé, et constitue des roches porphyriques ou trachytes; quelquefois il se forme presque entièrement en grains cristallins. Ainsi les feux souterrains produisent du feldspath, de l'amphibole, du mica, etc., principes dominants dans les roches primitives, et que l'on n'a jamais vu produire à la voie humide: ils produisent des porphyres quelquefois entièrement semblables à ceux des formations primitives; leurs roches granitoïdes ont aussi beaucoup de rapports avec les granites des terrains primitifs. Une telle analogie, et dans la nature et dans la texture, ne doit-elle pas porter à admettre que, dans ces terrains, les granites et les porphyres ont aussi une origine ignée, et qu'il est de même des autres roches primitives, lesquelles n'en sont en quelque sorte que des modifications.

Aux objections tirées de la différence qu'on remarque encore entre le sol primitif et le sol volcanique, on répond: tous les produits du règne minéral, à mesure qu'ils avancent en âge, présentent des différences de plus en plus grandes. Nous avons vu qu'il en était ainsi des produits neptuniens, et en particulier des formations calcaires (S. 160); il en sera de même des productions ignées. Nous avons signalé déjà des dissemblances entre les productions des trois premières périodes; les laves basaltiques, les dolérites et les trachytes; ces derniers produits doivent aussi différer de ceux des époques antérieures; et par suite on ne saurait conclure des différences qu'on voit encore entre les trachytes granitoïdes et les vrais granites, que ceux-ci ne sont pas aussi d'origine volcanique: le fait est, que les uns et les autres ont, à très-peu près, même pâte et même texture.

D'ailleurs on ne dit pas que le sol primitif soit un tas de coulées volcaniques, mais qu'il est la croûte solidifiée du globe jadis dans un état complet de fluidité ignée: la soli-

dification pourra être un effet, comme l'a dit une fois M. de Humboldt, de l'oxigénation du *silicium*, de l'*aluminium*, du *calcium*, etc., qui, encore à l'état métallique et en pleine fusion, formeraient l'intérieur du globe, oxigénation due au contact de l'atmosphère : elle pourrait encore être, comme l'admettent plusieurs physiciens, un simple effet d'un refroidissement occasioné ou par le transport de notre planète dans un milieu plus froid, ou par toute autre cause; le refroidissement, qui aurait commencé à la surface, se continuerait encore graduellement en allant vers l'intérieur.

Cette hypothèse, d'après laquelle la croûte minérale du globe terrestre ne serait que l'écorce refroidie d'un globe en fusion, ne saurait être présentée avec la simplicité d'un tel énoncé; car il est incontestable qu'une partie de cette croûte consiste en une suite de sédiments qui se sont formés et déposés au sein des mers. Il faudrait revenir au moins à l'opinion de Buffon, que nous ferons connaître par la suite, et d'après laquelle le premier effet du refroidissement aurait été de condenser un immense volume de vapeurs, d'où serait résulté un vaste Océan, lequel aurait ensuite exercé une action destructive sur son fond, la superficie du sol primitif, produite encore par le premier refroidissement; il en aurait trituré, délayé et dissous les principes; et puis, en les déposant, il aurait formé les terrains secondaires.

Malgré l'extrême difficulté de concevoir un tel état des choses (1), si le sol primitif ne consistait qu'en une seule masse de granite et de porphyre, sur lequel serait simple-

---

(1) Les terrains secondaires sont presque entièrement calcaires, et le calcaire ne se trouve qu'en très-petite quantité dans les terrains primitifs : les principes de ce minéral seraient donc *advenus* sur notre planète depuis la consolidation de sa surface ? Cette difficulté, dont la solution est autant au-dessus de notre portée que celle des objections que nous nous sommes faites contre le système neptunien, jointe à quelques autres, rend, dans toute hypothèse, le mode de formation des terrains secondaires à peu près aussi inconcevable que celui des terrains primitifs, et cependant tout le monde regarde les premiers comme un produit des mers.

ment et distinctement superposé le sol secondaire, conduit par l'analogie que j'ai remarquée entre les granites ou porphyres et les produits de la voie ignée, j'admettrais aussi cet état des choses. Mais il est loin d'en être ainsi : le sol primitif est principalement composé de gneis, schiste-micacé, phyllades, etc., dont nous n'avons jamais vu des indices parmi les produits du feu ; ces masses schisteuses renferment de nombreux bancs de serpentine, de quartz, de calcaires, qui n'ont aucun analogue parmi ces produits ; la disposition de ces substances par assises, disposition évidente alors même que les assises sont très-inclinées ; l'inversion fréquente dans l'ordre des pesanteurs spécifiques et des fusibilités, des couches de fer oxydulé sur des couches de calcaire ou de talc, des couches de phyllade ou d'eurite sur des couches de quartz, etc. ; tout cela, ainsi que nous l'avons déjà observé, ne saurait se rapporter à un globe de matières fondues ensemble, se consolidant et cristallisant graduellement de la surface au centre. De plus, le sol secondaire est loin d'être distinctement superposé au sol primitif : dans un grand nombre de points de contact, ils se fondent ou s'engrènent l'un dans l'autre ; quelquefois même le premier tient si intimement au second, qu'il fait corps avec lui ; il semble être une branche de ce tronc. Je n'ai jamais parcouru un terrain de granite sur une longueur de quelques lieues, sans voir, tantôt sur un point, tantôt sur un autre, cette roche dégénérer en gneis et en schiste-micacé ; dans presque toutes les chaînes de montagnes, ce schiste dégénère à son tour en ardoise, laquelle devient ensuite charbonneuse, se charge d'impressions de plantes, et finit par alterner avec des couches renfermant ou des vestiges de corps marins, ou des débris de roches antérieures charriés et étendus par des eaux. Ces faits ont été vus et remarqués par tous les géognostes ; à tous, ils ont montré que dans la série des formations minérales un mode de production n'a pas cessé généralement pour faire place à un autre tout différent : qu'à aucune époque déterminée une suite de sédiments n'a commencé à se déposer sur un sol de nature différente, sur la surface refroidie d'un globe de matières en fusion.



Au reste, on le répète, nous ne parlons ici que de la mince écorce terrestre qui comprend les assises minérales à nous connues, et nous ne préjugeons absolument rien sur la nature et l'état de ce qui est au-dessous.

Résumant ce que nous venons d'exposer, dans cette note, sur le mode de formation de ces assises, et après avoir rappelé qu'il est hors de tout doute que leur substance a été originairement fluide ou suspendue dans un fluide, nous établirons :

1.° Qu'il n'est pas moins certain que la fluidité des terrains tertiaires et secondaires a été aqueuse, c'est-à-dire, que ces terrains ont été formés dans des mers par des suites de sédiments déposés successivement les uns sur les autres.

2.° Qu'il en est incontestablement de même de l'étage supérieur des terrains intermédiaires, la grande formation houillère, et qu'il ne paraît pas pouvoir en être autrement de l'étage inférieur, essentiellement composé de schistes à impressions de plantes et de roches fragmentaires ou arénacées.

3.° Que le passage positif et insensible des terrains intermédiaires aux terrains primitifs, tant dans la nature que dans la disposition de leurs masses ou couches, ne permet pas de leur attribuer un mode de formation entièrement différent; d'admettre le mode neptunien pour les premiers et le mode plutonien pour les seconds.

4.° Qu'au-dessus des divers terrains que nous venons de nommer, et qui présentent comme une série continue, les feux souterrains ont étendu les produits de leurs éruptions; ils les ont quelquefois entremêlés avec les assises des terrains tertiaires; et peut-être même, déjà à une époque bien antérieure, au sein des anciennes mers, ils avaient intercalé leurs coulées jusques dans les formations intermédiaires qui s'y déposaient.

## NOTE IV.

*Des mouvements de la terre, et de ses rapports avec les autres corps du système planétaire.*

La terre tourne autour de son axe et fait une révolution en 23 h. 56' 4,1" : ce qui donne, sous le parallèle de Paris, une vitesse de 306 mètres par seconde ; celle d'un boulet, au sortir du canon, est de 450 mètres.

La terre décrit, en outre, autour du soleil une ellipse presque circulaire, au foyer de laquelle se trouve cet astre. L'excentricité de la courbe est la 0,016814.<sup>e</sup> partie du demi-grand axe : de sorte que les deux axes sont entre eux comme 1 à 0,99986. Le rayon moyen, ou distance moyenne de la terre au soleil est au moins de 23577 rayons terrestres ou 15010080 myriamètres : on l'estime ordinairement à 15340000. L'orbite est parcouru en 365 j. 5 h. 48' 51" : c'est l'*année tropique*. Mais comme l'orbite rétrograde de 50",1 par an, la terre est obligée de parcourir encore cet arc pour se retrouver au même point du ciel ; elle y emploie 20' 20", et par conséquent l'*année sydérale* est de 365 j. 6 h. 9' 11" ; ce qui donne une vitesse d'environ 9722 mètres par seconde. Ce mouvement rétrograde de l'orbite terrestre ou de ses nœuds, est le phénomène connu sous le nom de la *précession des équinoxes*.

Quant aux rapports du globe terrestre avec les principaux corps du système planétaire, je me bornerai à les indiquer dans le tableau suivant, que j'ai dressé d'après les résultats consignés dans les ouvrages de Laplace, et dans l'astronomie de Delambre.

| CORPS<br>PLANÉTAIRES. | DIAMÈTRE. | DENSITÉ. | MASSE. | DISTANCE<br>AU SOLEIL. | RECEPTRICITÉ<br>DE L'HAUTEUR. | INCLINAISON<br>DE L'ORBITE. | TEMPS<br>de la révolution<br>SIDÉRALE. | VITESSE. |
|-----------------------|-----------|----------|--------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------|
| Soleil . . .          | 111,74    | 0,24     | 339630 | 0                      | 0                             | 0                           | 0                                      | 0        |
| Mercure . .           | 0,38      | 2,88     | 0,171  | 0,39                   | 0,206                         | 7° 0                        | 0,24                                   | 1,61     |
| Vénus . . .           | 0,96      | 1,05     | 0,92   | 0,72                   | 0,007                         | 3 23                        | 0,65                                   | 1,17     |
| Terre . . .           | 0,1       | 1,       | 1,     | 1,                     | 0,017                         | 0 0                         | 1,                                     | 1,       |
| Mars . . .            | 0,52      | 0,93     | 0,13   | 1,52                   | 0,093                         | 1 51                        | 1,88                                   | 0,81     |
| Vesta . . .           | ..        | ..       | ..     | 2,36                   | 0,183                         | 7 7                         | 3,66                                   | 0,65     |
| Junon . . .           | ..        | ..       | ..     | 2,67                   | 0,254                         | 13 4                        | 4,36                                   | 0,61     |
| Cérès . . .           | 0,31      | ..       | ..     | 2,77                   | 0,078                         | 10 38                       | 4,60                                   | 0,60     |
| Pallas . . .          | 0,15      | ..       | ..     | 2,77                   | 0,245                         | 34 37                       | 4,60                                   | 0,60     |
| Jupiter . .           | 10,86     | 0,24     | 309,   | 5,26                   | 0,048                         | 1 19                        | 11,86                                  | 0,44     |
| Saturne . .           | 9,98      | 0,096    | 93,    | 9,54                   | 0,056                         | 2 30                        | 29,46                                  | 0,32     |
| Herschell .           | 4,33      | 0,021    | 1,69   | 19,18                  | 0,047                         | 0 46                        | 84,02                                  | 0,22     |
| Lune . . .            | 0,273     | 0,072    | 0,0146 | 1,                     | ..                            | 5                           | 0,075                                  | 0,034    |

## NOTE V.

*Quantité de vapeur aqueuse contenue dans l'atmosphère.*

Soit

- $\phi$  la force élastique de la vapeur à une température  $t$  et à saturation, c'est-à-dire soit  $\phi$  la hauteur à laquelle se tiendrait le baromètre dans un espace uniquement occupé par cette vapeur, l'espace en étant saturé. D'après les expériences de Dalton, j'ai

$$\phi = 0^m,005123 \times 10^{0,02797t - 0,0000626t^2}.$$

- $n$  le rapport entre la quantité de vapeur contenue dans un espace où l'hygromètre est à un certain degré, et la quantité qui serait contenue dans ce même espace à saturation, c'est-à-dire l'hygromètre y étant à 100°. M. Gay-Lussac a publié une table des valeurs de  $n$  correspondante aux divers degrés de l'hygromètre.

- $h$  la hauteur du baromètre dans la partie de l'atmosphère que l'on considère.

Soit enfin, d'après M. Gay-Lussac,  $\frac{p}{p'}$  le rapport entre les poids de la vapeur et de l'air sec, à mêmes volume,

# 404 VAPEUR AQUEUSE DANS L'ATMOSPHERE.

température et pression : (à 0° et 0<sup>m</sup>,76 de pression, le mètre cube d'air pèse 1300 grammes),

On aura,

Pour le poids de la vapeur contenue dans un mètre cube de l'air de l'atmosphère

$$\frac{1}{8} \cdot \frac{1300 \cdot n p}{0,76(1 + 0,00375 t)} \text{ ou } 1069 \frac{n p}{1 + 0,00375 t} \text{ grammes.}$$

Pour le rapport entre les poids de la vapeur et de l'atmosphère, c'est-à-dire, pour le poids de la vapeur contenue dans une partie de l'atmosphère, le poids de cette partie étant représenté par 1,

$$\frac{5 n p}{8 h - 3 n p}$$

C'est d'après ces formules que nous donnons, dans les deux tableaux suivants, les poids ou quantités de vapeur qui y sont portées.

Le premier de ces tableaux, basé sur les observations thermométriques et hygrométriques faites à Toulouse, pendant plusieurs années consécutives, conviendra généralement à nos latitudes moyennes.

A Toulouse  $h = 0^m,75$ , terme moyen.

| MOIS.         | INDICATION MOYENNE DU |             | QUANTITÉ DE VAPEUR |                             |
|---------------|-----------------------|-------------|--------------------|-----------------------------|
|               | thermomètre.          | hygromètre. | par mètre cube.    | par rapport à l'atmosphère. |
|               |                       |             | gramm.             |                             |
| Janvier . . . | 3°,3                  | 93°         | 5,62               | 0,0044                      |
| Février . . . | 5,5                   | 91          | 6,08               | 0,0048                      |
| Mars . . .    | 7,7                   | 88          | 6,41               | 0,0052                      |
| Avril . . .   | 12,1                  | 86          | 7,87               | 0,0064                      |
| Mai . . .     | 15,2                  | 85          | 9,20               | 0,0076                      |
| Juin . . .    | 17,5                  | 84          | 10,17              | 0,0085                      |
| Juillet . . . | 20,6                  | 82          | 11,56              | 0,0098                      |
| Août . . .    | 21,6                  | 83          | 12,39              | 0,0105                      |
| Septembre . . | 18,3                  | 85          | 10,95              | 0,0092                      |
| Octobre . . . | 13,0                  | 90          | 9,16               | 0,0075                      |
| Novembre . .  | 9,3                   | 92          | 7,79               | 0,0063                      |
| Décembre . .  | 4,9                   | 94          | 6,30               | 0,0050                      |
| Moyenne . . . | 12,4                  | 88          | 8,41               | 0,0069                      |

| OBSERVATEUR. | LOCALITÉ.                             | HAUTEUR.<br>mètres. | THERMOMÈTRE. | HYGROMÈTRE.      | QUANT. DE VAP.     |                                     |
|--------------|---------------------------------------|---------------------|--------------|------------------|--------------------|-------------------------------------|
|              |                                       |                     |              |                  | par mètre<br>cubo. | par rapport<br>à l'atmo-<br>sphère. |
| Humboldt .   | Zone torride .                        | 500                 | 25°,3        | 86°              | 16,3               | 0,015                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 1500                | 21,2         | 80               | 11,2               | 0,011                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 2500                | 18,7         | 74               | 8,3                | 0,009                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 3500                | 9,0          | 65               | 3,8                | 0,005                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 4500                | 3,7          | 54               | 2,1                | 0,003                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 5500                | 3,0          | 38               | 1,3                | 0,002                               |
| Gay-Lussac . | Ascension aéro-<br>statique (Paris) . | 50                  | 27,8         | 57 $\frac{1}{2}$ | 8,9                | 0,008                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 3000                | 12,5         | 62               | 4,3                | 0,005                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 4000                | 11,2         | 32               | 1,7                | 0,002                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 5000                | 5,3          | 30               | 1,1                | 0,002                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 6000                | -3,0         | 32               | 0,7                | 0,001                               |
| Idem. . .    | Idem . . .                            | 7000                | -9,5         | 32               | 0,5                | 0,001                               |
| Saussure .   | Genève . . .                          | 400                 | 16,0         | 90               | 10,8               | 0,009                               |
| Idem. . .    | Chamouni . .                          | 1000                | 12           | 86               | 7,8                | 0,007                               |
| Idem. . .    | . . . . .                             | 1300                | 7            | 92               | 6,8                | 0,006                               |
| Idem. . .    | Le Mole . . .                         | 1700                | 17           | 62               | 5,5                | 0,006                               |
| Idem. . .    | Idem . . . .                          | 1900                | 17,5         | 53               | 4,5                | 0,005                               |
| Idem. . .    | Mont-Breven .                         | 2500                | 6,2          | 87               | 5,8                | 0,006                               |
| Idem. . .    | Chaurion . . .                        | 2800                | 15           | 70               | 6,2                | 0,007                               |
| Idem. . .    | Col du géant .                        | 3436                | 2,5          | 75               | 3,4                | 0,004                               |
| Idem. . .    | Arête de Gouté.                       | 3800                | 3,1          | 73               | 3,3                | 0,004                               |
| Idem. . .    | Mont-Blanc .                          | 4800                | 2,9          | 51               | 1,3                | 0,002                               |

Si l'air interposé ne gênait pas le mouvement de la vapeur dans l'atmosphère, et des physiciens pensent qu'il ne le gêne pas, et que la vapeur s'y disposât d'après les lois de l'équilibre des fluides élastiques, la force élastique  $n\phi$  de la couche inférieure représenterait le poids total des couches supérieures; et 13,6 $n\phi$  serait l'épaisseur de la lame d'eau que produirait toute la vapeur contenue dans l'atmosphère si cette vapeur se précipitait en entier.

## NOTE VI.

*Des Météorites.*

Peu de faits sont aussi intéressants, pour le naturaliste et pour le physicien, que la chute des pierres appelées *météorites* ou *aérolithes*, et désignées autrefois sous le nom de *pierres tonnerre* ou *pierres tombées du ciel*. L'incrédulité a usé tous ses arguments contre un fait dont l'histoire fait souvent mention, il est vrai, mais que les savants avaient relégué, jusque dans ces derniers temps, avec les pluies de sang, de crapauds, etc., au rang des fables populaires, effet de l'illusion d'un esprit superstitieux, aveuglé par le préjugé ou frappé par la terreur.

Tite-Live, Plinè, et un très-grand nombre d'historiens des divers âges, avaient parlé des pluies de pierres tombées en différents temps, et avaient attesté le fait de la manière la plus positive. On avait souvent entretenu l'académie des sciences de pareils objets; mais ils y avaient été écoutés avec peu de faveur; et en 1772, Lavoisier, chargé avec deux autres commissaires de faire l'examen d'une pierre qu'on assurait être tombée près du Mans, et avoir été ramassée encore toute chaude, immédiatement après sa chute, ne voulut voir en elle qu'un grès pyriteux; qui avait été frappé par la foudre; les vrais physiciens, disait-il, ont toujours regardé comme fort douteuse l'existence de ces pierres prétendues tombées du ciel. Cependant, en 1796, il en tomba une grande quantité à Bénarès dans l'Inde; des échantillons furent envoyés à Londres; ils furent examinés soigneusement, sous leurs rapports minéralogiques et chimiques, par MM. de Bournon et Howard: ces savants rassemblèrent plusieurs autres météorites, et frappés de l'identité de leurs caractères et de leur composition, ils invitèrent les physiciens à porter leur attention sur ces corps, et à rechercher si effectivement ils n'auraient pas une origine météorique. Quelques années après, M. Vauquelin, s'étant procuré quelques fragments de ces pierres, y ayant trouvé les mêmes

principes que M. Howard, et ayant examiné les documents qui constataient leur chute, se prononça formellement sur leur origine, en plein Institut : Ce sont, disait-il, des masses tombées de l'atmosphère sur la surface de la terre ; il en est tombé en France, en Angleterre, dans les Indes, etc., et toutes se ressemblent par leurs caractères physiques et par leur composition chimique. J'étais présent à la lecture de ce mémoire, et, malgré les preuves et les faits rapportés, la majorité des auditeurs doutait encore.

Quelques naturalistes vinrent à cette époque entretenir l'Institut de ces chutes de pierres : quelques mathématiciens cherchèrent à montrer comment ces corps, très-probablement étrangers à notre planète, pouvaient parvenir à sa surface, et, au milieu des discussions et des doutes qui s'élevaient à ce sujet (en 1803), on reçut la nouvelle qu'à trente lieues de Paris même, près de l'Aigle en Normandie, il venait de tomber une très-grande quantité de météorites. Un commissaire fut envoyé sur les lieux ; il constata le fait de la manière la plus authentique, et il le circonstancia d'une manière si précise, que l'incrédulité se vit forcée dans son dernier retranchement.

La chute des météorites est donc un fait incontestable : nous allons faire connaître les phénomènes qui l'accompagnent, exposer les caractères de ces pierres, et indiquer les principales opinions émises sur leur origine. Envoyé moi-même, avec MM. Saget, Carney et Marqué-Victor, en 1812, aux environs de Grenade, à sept lieues au nord-nord-ouest de Toulouse, pour y constater une pareille chute, je ferai fréquemment usage des documents que nous avons recueillis sur les lieux.

Les météorites arrivent, dans notre atmosphère, sous forme d'une masse, ou *bolide*, d'un volume en général peu considérable ; il s'enflamme brusquement, et paraît alors comme un globe lumineux qui se meut avec une extrême rapidité, et dont la grandeur apparente est souvent comparée à celle de la lune ; tantôt elle est plus petite, tantôt elle va jusqu'à deux ou trois pieds. Dans son mouvement, il lance souvent comme des étincelles, et laisse derrière lui

une queue brillante, qui paraît être de la flamme retenue en arrière par la résistance de l'air. La très-vive clarté qu'il répand se soutient pendant quelques instants et même pendant une ou deux minutes; en disparaissant, elle laisse habituellement un petit nuage blanchâtre qui ressemble à de la fumée, et qui se dissipe au bout de quelque temps. Après l'extinction de la lumière, on entend une ou plusieurs fortes détonations pareilles à celles d'un canon de gros calibre; elles sont suivies d'un roulement très-fort, semblable à celui de plusieurs tambours ou de plusieurs voitures roulant sur un pavé; il se prolonge pendant quelques minutes, et suit la direction qu'avait le bolide. Là où il passe, et immédiatement après son passage, on entend dans l'air des sifflements et un bruit occasionés par la chute de pierres qui tombent avec rapidité, et qui frappent avec force la terre, dans laquelle elles s'enfoncent plus ou moins. Ces pierres, dont le nombre et la grosseur varient considérablement, sont chaudes, comme brûlées, et répandent une odeur de soufre au moment de leur chute.

Il est très-remarquable que toutes les relations authentiques que nous avons de ces phénomènes présentent exactement toutes ces mêmes circonstances; il n'y a de variation que du plus au moins. A Grenade, le bolide ne fut pas aperçu, le ciel étant presque entièrement couvert; mais la lueur qu'il répandit fut très-vive, elle dura au moins quinze secondes, et plus d'une minute au dire de quelques personnes; les détonations furent au nombre de trois; on les entendit à plus de vingt lieues de distance; le roulement se prolongea pendant quelques minutes, en se dirigeant du nord-ouest au sud-est; l'espace dans lequel tombèrent les pierres est une langue étroite, affectant la même direction, et ayant environ quatre mille mètres de long et quatre cents de large: ces pierres étaient certainement au nombre de plus de cent; on n'en a ramassé qu'une vingtaine, la plus grosse pesait deux livres. A l'Aigle, le météore parut comme un globe enflammé et très-brillant; le terrain sur lequel tombèrent les pierres, avait deux lieues et demie de long et une de large; on a estimé leur nombre à plus de trois mille, une d'elles a pesé



dix-sept livres. En 1492, il en tomba une à Ensisheim en Alsace, pesant 260 livres : on en a un fragment de vingt livres au Muséum d'histoire naturelle à Paris.

On sent qu'il est impossible de rien dire de précis sur la hauteur, la vitesse et la grandeur réelles des bolides. M. Bowditch, recueillant des observations, d'ailleurs assez vagues, sur celui vu à Weston dans le Connecticut, en 1807, conclut que sa hauteur était de près de trente mille mètres (six à sept lieues) ; sa vitesse de quatre mille huit cent trente-quatre mètres par seconde, c'est-à-dire dix fois plus grande que celle d'un boulet de canon, et moitié de celle avec laquelle la terre est emportée autour du soleil ; quant à son moindre diamètre, il le porte à cent soixante mètres. Toutes ces quantités me paraissent bien considérables : et lorsqu'à Grenade j'ai vu le peu de largeur de la bande de terrain sur lequel les météorites étaient tombés ; lorsque j'ai entendu des détonations dont la force indiquait qu'elles avaient lieu dans un milieu assez dense, et par conséquent dans la partie inférieure de notre atmosphère ; lorsque j'ai ouï dire à un grand nombre de témoins qu'ils avaient entendu le très-fort bruissement de la masse passant sur leurs têtes dans une direction bien précise, j'ai été tenté de conclure que le bolide était à une petite hauteur au moment qu'il a éclaté et lancé les météorites, tout en poursuivant sa route.

Si l'accord entre les diverses circonstances qui accompagnent l'arrivée du bolide, sa détonation et sa dispersion en pierres, est très-remarquable, celui que présentent ces pierres dans tous leurs caractères physiques et chimiques est vraiment étonnant : tous les échantillons des divers météorites que j'ai vus, paraissent n'être que des fragments de la même masse ; et il en est à peu près de même de tous ceux cités par les auteurs.

Ils consistent en une pâte pierreuse, homogène, grisâtre et granuleuse, renfermant une plus ou moins grande quantité de grains d'un fer à l'état métallique et très-malléable. J'établis leurs caractères minéralogiques ainsi qu'il suit :

La forme est entièrement indéterminée et irrégulière.

La surface offre de toutes parts des angles, ou arêtes, ar-

rondis et émoussés ; à peu près comme celle d'un corps qui aurait éprouvé un commencement de fusion. C'est une croûte très-mince, le plus souvent semblable à un simple enduit superficiel, mais qui a quelquefois plus d'une ligne d'épaisseur. Elle est fréquemment vitrifiée par parties.

Elle est d'un *noir brunâtre*. L'intérieur est d'un *gris cendré* plus ou moins foncé, et il se couvre de taches de rouille par l'exposition à l'air.

La cassure est *mate, terreuse, à gros grains* (à grain grossier), ou plutôt *granuleuse*, comme celle de certains grès : elle présente souvent des *pièces séparées grenues*. Elle est rude au toucher.

Les météorites sont faciles à casser ; quelquefois même ils sont friables ; ils s'égrènent ou se pulvérisent aisément.

Ils sont assez durs pour rayer le verre ; mais la croûte seulement donne quelques étincelles au briquet.

Leur pesanteur spécifique varie suivant la quantité de fer contenue : on l'a vue aller de 3,3 à 4,3 ; dans ceux de Grenade, elle a été de 3,66 à 3,71.

De minces fragments, exposés à l'action du chalumeau, se sont noircis, frittés et couverts de globules noirs en quelques points. Dans ce nouvel état, ils étaient parfaitement semblables à la croûte.

Le fer que ces pierres contiennent est en général en très-petits grains, souvent imperceptibles à la vue simple ; d'autres fois il est en petites paillettes, et quelquefois en petits lingots. Dans les météorites de Grenade, celui que nous en avons séparé par la division mécanique, a fait, dans quelques échantillons, plus du tiers de leur poids : il y était en si grande quantité, et il y était si malléable, que, même dans les endroits où il ne se distinguait pas à la vue simple, la rayure d'une pointe d'acier laissait sur la pierre une trace métallique et exactement pareille à celle qu'elle eût laissé sur une masse de plomb.

La plupart des météorites renferment encore des points pyriteux, quelquefois même des pyrites bien distinctes.

La description générale que nous venons de donner, comprend tous les météorites qui me sont connus, sauf ceux

tombés près d'Alais, en 1806; ils sont noirs, charbonneux et légers (pesant. spéc. 1,9), presque friables, quoiqu'ils aient d'ailleurs la même composition essentielle que les autres météorites.

Parmi les différences que présentent quelques-uns de ceux qui sont connus, nous citerons la texture sensiblement schisteuse de celui d'Ensisheim; la texture sensiblement cristalline de celui tombé à Chassigny, près de Langres; en 1815: il paraît composé de petites lames d'un reflet vif et nacré, comme certains spaths perlés; au milieu des lames M. Gillet a trouvé un cristal qui lui a paru avoir quelque analogie avec ceux de l'augite; ce météorite n'agit point sur le barreau aimanté, quoiqu'il contienne près d'un tiers de son poids d'oxide de fer.

L'identité de composition est indiquée par le tableau suivant :

|                | PAR VAUQUELIN. |          |          |        | PAR KLAPROTH. |            | PAR LAUGIER. |            |
|----------------|----------------|----------|----------|--------|---------------|------------|--------------|------------|
|                | Ensisheim.     | Bénarès. | L'Aigle. | Alais. | Liège.        | Eichstædt. | Lipsa.       | Zaborzica. |
| Silice. . . .  | 56             | 48       | 63       | 30     | 43            | 37         | 34           | 41         |
| Magnésie. . .  | 12             | 13       | 9        | 11     | 22            | 21,5       | 17           | 14,9       |
| Alumine. . .   | "              | "        | "        | "      | 1,5           | "          | 1            | 0,8        |
| Chaux. . . .   | 1,4            | "        | 1        | "      | 0,5           | "          | 0,5          | 2,0        |
| Fer. . . . .   | 30             | 38       | 36       | 40     | 39,0          | 35,5       | 40           | 45         |
| Nickel. . . .  | 2,4            | 3        | 3        | "      | 0,5           | 1,5        | 1,5          | 1          |
| Chrome. . . .  | "              | "        | "        | 1      | "             | "          | 1            | 0,7        |
| Soufre. . . .  | 3,5            | "        | 2        | 0,1    | "             | "          | 6,8          | 4          |
| Carbone. . .   | "              | "        | "        | 2,5    | "             | "          | "            | "          |
| Excès ou perte | +5,3           | +2       | +4       | -3,4   | -3,5          | -4,5       | +1,8         | +9,4       |

Toutes les autres analyses de météorites faites par divers chimistes, offrent des résultats à peu près pareils: je dois cependant en exempter celle de la pierre tombée, en 1808, à Stannern en Moravie, et dans laquelle M. Vauquelin a

trouvé 9 d'alumine, 12 de chaux, et point de magnésie. La partie pierreuse des autres, composée de silice et de magnésie dans le rapport d'environ 3 à 1, ne ressemblerait à aucune de celles de nos pierres; et elle tiendrait le milieu, par sa composition, entre le pléonaste et l'olivine, deux substances volcaniques, produits de la voie ignée. Quoique le fer qu'on retire des météorites n'y soit, en très-grande partie, que mécaniquement mêlé, il n'en est pas moins extraordinaire de l'y voir constamment dans le rapport de 30 à 45 pour cent. Mais ce qui est bien plus extraordinaire encore, c'est de l'y voir habituellement à l'état métallique, et plus encore de l'y voir d'une malléabilité que n'a point le fer ordinaire: celui des météorites de Grenade était doux comme du plomb: doit-il cette qualité au nickel avec lequel il est habituellement mêlé: la doit-il à une combinaison particulière avec le soufre? La présence du carbone dans quelques météorites n'est pas moins remarquable: ceux d'Alais en contiennent une quantité notable, et l'aspect fuligineux de l'écorce semble le déceler dans la plupart d'entre eux. En résultat, quoique tous ces principes constitutifs se retrouvent dans nos minéraux, il n'en est pas moins vrai que les météorites ne ressemblent à aucun des corps que nous connaissons sur notre globe, tant sous le rapport de leur composition, que sous celui des caractères minéralogiques.

La quantité de fer qu'ils contiennent augmente quelquefois au point de devenir la partie dominante, et même la seule partie, et l'on a alors des masses de fer plus ou moins pur: vraisemblablement la ténacité de leurs molécules, s'opposant à leur brisement et à leur dispersion en petites portions, fait qu'ils tombent en plus grandes masses que les météorites pierreux. Au reste, les naturalistes ne citent d'autres masses de fer qu'on ait réellement vu tomber, que celles d'Agram en Croatie: l'une pèse soixante-onze livres; et l'autre seize; leur chute, qui eut lieu en 1751, fut accompagnée des mêmes circonstances que l'est celle des météorites: analysées par Klaproth, elles ont donné quatre-vingt-seize de fer et quatre de nickel. On rapporte aux fers météoriques un grand nom-

bre de masses de ce métal qu'on trouve à la surface du globe, et dont l'origine avait jusqu'ici été très-problématique : telles sont entre autres, 1.<sup>o</sup> celle que Pallas a vue en Sibérie sur la cime d'une haute montagne, dont le poids est d'environ seize quintaux, et que les habitants du pays regardent comme tombée du ciel : sous une croûte rude et ferrugineuse, elle présente un fer doux, blanc, plein de trous comme une éponge grossière, et qui sont remplis d'une matière vitreuse, brunâtre ou verdâtre, translucide, ayant beaucoup de rapports avec l'olivine : ce fer contient un peu de nickel et de soufre. 2.<sup>o</sup> Une énorme masse de fer malléable, observée par M. de Humboldt au milieu des plaines de la Nouvelle-Biscaye, en Amérique, et dont le poids est estimé à près de quatre cents quintaux : Klaproth en a retiré trois pour cent de nickel. 3.<sup>o</sup> Des masses tombées en Amérique, à vingt lieues de Bogota, sur un terrain de grès secondaire, et observées, en 1823, par MM. Rivero et Bousingault : la plus considérable pesait sept cent cinquante kilogrammes : la pesanteur spécifique était de 3,7 : sa cassure était d'un blanc argentin, grenue et remplie de vacuoles : soumise à l'analyse, elle a donné 91 % de fer et 8 % de nickel.

C'est encore aux météorites, et à l'extrême division qu'ils peuvent avoir éprouvée dans leurs détonations, qu'on attribue aujourd'hui la chute de diverses poussières grises, rouges ou noires, qui, mêlées quelquefois avec l'eau de la pluie, auront donné lieu aux fables de pluies de sang et autres mentionnées dans quelques historiens.

Mais quelle est l'origine de ces corps si extraordinaires ? d'où nous viennent-ils ?

En 1799, Werner, montrant dans ses cours des fragments des météorites d'Eichstædt en Bavière, disait qu'il serait bien possible que ce fussent des corps lancés sur la terre par les volcans de la lune, et que c'était l'opinion de plusieurs savants distingués. Les mathématiciens français ont examiné depuis cette question, et M. Poisson a trouvé qu'une force de projection, donnant une vitesse de deux mille cent quarante-sept mètres par seconde, suffirait pour porter un

corps de la surface de la lune à celle de la terre (1) : pareille vitesse serait cinq fois plus grande que celle d'un boulet de canon, et au moins autant de fois plus considérable que celle qu'on peut raisonnablement attribuer aux corps lancés par les volcans terrestres (§. 67). Dans cette hypothèse, tous les météorites seraient des fragments de la masse lunaire; et cette masse serait donc composée d'une seule et même matière : il n'en est pas de même de la terre. Les considérerait-on comme des produits des volcans de la lune, de la même manière que les basaltes, les trachytes, l'olivine, l'augite, le fer titané, etc., sont des produits des volcans terrestres?

M. Chladny et la plupart des astronomes les regardent comme des corps célestes errants dans l'espace, qui, en se mouvant dans leurs orbites, ont été portés dans la sphère d'attraction de la terre, et se sont précipités à sa surface. Tous ces corps, ces petites planètes ou comètes, seraient donc de même nature; mais d'une nature entièrement différente de celle de la terre; car les météorites se ressemblent tous, et ne ressemblent à aucun corps terrestre?

La Grange et d'autres mathématiciens les ont regardés comme les fragments de quelque planète brisée. Il serait donc tombé des fragments de cette planète, en Grèce 1478 ans avant notre ère, et à Langres 3293 ans ensuite? Si l'on admettait que les météorites appartiennent à des planètes différentes, il faudrait encore en conclure que toutes sont de même nature, celle qui, en 1492, jeta un de ses fragments à Ensisheim, et celle qui, en 1812, a lancé les siens près de Toulouse.

Cette identité de nature si remarquable porterait à admettre une identité d'origine ou de formation; et l'espèce de composition, ainsi que son analogie avec celle de quelques produits de nos volcans, semblerait indiquer une origine ignée; mais en concluant par induction, et d'après les faits connus, nous ne pouvons même concevoir aucune formation pareille dans notre atmosphère: la silice, la magnésie, le

---

(1) *Bulletin de la Société philomatique.*

fer, etc., se seraient-ils élevés, sous forme de gaz, dans les plus hautes régions de l'air? Comment s'y seraient-ils réunis instantanément en masse pesant souvent plusieurs quintaux? D'ailleurs, la vitesse oblique que les bolides ont, par rapport à la direction de la pesanteur, indique positivement qu'ils sont arrivés dans notre atmosphère en vertu d'une force de projection déjà reçue : et cette force de projection ne peut être qu'étrangère à notre planète : ces corps y sont donc aussi étrangers.

Au reste, il serait hors de notre plan de nous arrêter plus long-temps sur ces diverses hypothèses ; et, nous bornant aux faits les plus positifs, nous dirons : que les météorites sont des corps étrangers à notre planète ; qu'ils arrivent dans notre atmosphère animés d'une très-grande vitesse ; que vraisemblablement, par l'effet de cette vélocité et du frottement qui en résulte contre les molécules de l'air, leur superficie s'enflamme, et leur masse s'échauffe ; que, par suite de cet échauffement, ils détonent, se brisent et lancent leurs fragments sur la terre ; que, dans leur trajet, ces fragments éprouvent encore à leur surface une chaleur capable de la brûler et de la fondre : car ils tombent fous avec une écorce brûlée, qui paraît seulement plus épaisse dans les parties qui ont été à la superficie de la grande masse météorique avant sa rupture.

Nous renvoyons pour les détails sur les divers météorites tombés, sur leurs caractères et sur les phénomènes qui ont accompagné leur chute, à la *Lithologie atmosphérique* de M. Izarn, aux *Mémoires* de M. Bigot de Morogues, et particulièrement à ceux de M. Chladny. Ce savant et laborieux physicien s'est occupé d'une manière très-spéciale de cette matière ; et déjà en 1794 il avait publié sur les bolides un traité que l'on doit regarder comme le premier ouvrage réellement scientifique qui ait été publié sur les corps météoriques.

## NOTE VII.

*Des Sources.*

Il tombe annuellement sur la surface de la terre une couche d'eau d'environ un mètre d'épaisseur (§. 19) : la majeure partie en est reportée par l'évaporation dans l'atmosphère ; mais l'autre portion s'infiltré dans le terrain et vient ensuite sortir à sa surface sous forme de *sources*. Notre objet n'est point de développer et de prouver l'origine que nous attribuons aux sources, en les regardant comme un produit des eaux pluviales. Cette matière a été épuisée par les supputations et par les dissertations de Perrault, Mariotte, Halley, etc. Nous allons seulement jeter un coup d'œil sur quelques circonstances de leur formation, sur les causes qui les rendent plus abondantes dans des pays que dans d'autres, dans les montagnes que dans les plaines.

Lorsque les eaux pluviales tombent sur un terrain de transport, elles s'insinuent entre les molécules de sable et de terre qui le composent ; elles se frayent un passage en vertu de leur poids, et y descendent jusqu'à ce qu'elles rencontrent une couche imperméable : c'est ordinairement une argile plus ou moins pure. Ne pouvant aller plus profondément, elles glissent en quelque sorte dessus ; elles en suivent les plis et vont reparaitre au jour à l'intersection de la surface de la couche avec la superficie du sol.

Quelquefois les couches qui retiennent les eaux, ayant une forme concave, présentent de grands enfoncements dans lesquels les filtrations se rassemblent ; elles y restent, et y forment comme des marais ou réservoirs souterrains, dans lesquels plonge encore la partie de terrain perméable qui est au-dessus. Le niveau de ces eaux stagnantes, s'élevant par l'effet des filtrations toujours affluentes, finit par trouver quelque issue qui conduit au jour, quelquefois à une distance considérable, le trop plein du réservoir, et il se produit ainsi une source. C'est dans ces réservoirs ou lacs souterrains qu'aboutissent nos puits.



Les sources ne sont d'autres fois qu'un produit indirect de la filtration des eaux pluviales : telles, par exemple, que celles du Loiret, près d'Orléans ; elles jaillissent au milieu d'un terrain entièrement plat, et ne proviennent que de la filtration des eaux de la Loire, qui coule à une lieue de distance. La plus considérable d'entre elles fournit encore 33 mètres cubes d'eau par minute, dans les temps de moindre abondance (1).

Si les eaux pluviales tombent sur une roche, soit directement, soit indirectement après avoir traversé un terrain de transport, elles s'y enfoncent, en suivant ses fissures et fentes, jusqu'à ce que le roc devienne entièrement compacte. A sa rencontre, toutes celles qui sont descendues par des fissures en communication, se réunissent et suivent la plus inférieure des fentes qui peuvent les conduire au jour ; d'où il suit que dans les roches peu fendillées, ou dont les fentes ne pénètrent qu'à une petite profondeur, les sources seront en grande quantité, mais peu abondantes : tel est le cas de presque tous les terrains primitifs, et principalement des terrains granitiques : les eaux y sourdent de tous côtés ; elles y sont pures et limpides.

Mais si les roches sont comme perméables à l'eau et présentent des fissures qui s'enfoncent à de grandes profondeurs, telles sont surtout les calcaires secondaires, alors les eaux pluviales y descendront très-souvent bien au-dessous du niveau des vallées voisines ; elles s'y rassembleront et y formeront ces grands réservoirs souterrains que nous avons déjà mentionnés. Les énormes grottes et cavernes que ces roches contiennent leur fourniront un emplacement convenable : ce sera la plus basse des fissures aboutissant à ces cavités, qui conduira au dehors le trop plein du réservoir, et qui donnera lieu à une source dont la force sera en quelque sorte proportionnelle à l'étendue superficielle du réservoir, ou plutôt à celle de l'espace qui y envoie ses eaux. D'après cela, les sources seront peu nombreuses dans de pareils terrains ; des vallées entières ou des espaces de plusieurs lieues carrées en seront dé-

---

(1) Paganioi de la Force, Héricart de Thury, etc.

pourvus; mais celles qu'on y trouvera seront souvent remarquables par leur grosseur. C'est des montagnes calcaires que sortent celles qui sont célèbres par leur grand volume : telles sont, entre autres, la fontaine de Vaucluse, que l'on a remontée en bateau jusque dans la caverne d'où elle sort (1); la Loue, dans le Jura, qui met en mouvement quatre usines dès sa sortie de terre (2); la Touvre qui, près d'Angoulême, à une demi-lieue du point où elle sort d'un rocher escarpé, met les douze ou quinze roues hydrauliques de la fonderie de canons de Ruelle; dans les grottes de la contrée, on suit pendant des lieues entières les canaux souterrains dont la réunion produit cette énorme source (3). Au pied de l'escarpement calcaire qui borde le Lot, en face de Cahors, j'ai vu une autre source, donnant environ deux mètres cubes d'eau par seconde, et mettant en mouvement, sur le lieu même, quatre meules de moulin.

La diverse disposition des grottes et de leurs communications, dans ces mêmes montagnes, donne lieu aux phénomènes des *fontaines intermittentes*, que l'on trouve décrites dans les ouvrages de physique (4). Si le canal par lequel l'eau sort du réservoir souterrain est courbé en forme de siphon, et qu'il puisse verser plus d'eau qu'il n'en a entre dans le bassin; après qu'il aura vidé toute celle qui serait entre le niveau de sa convexité et le point où il aboutit dans le réservoir, l'écoulement cessera, et il ne reprendra que lorsque l'eau, recevant continuellement le produit des filtrations, sera de nouveau parvenue à la hauteur de la convexité du siphon. Tel est le cas de la fontaine de Fontestorbe, près de Bellesart (département de l'Ariège). Dans les saisons sèches, son intermittence est bien marquée : alors l'eau coule pendant environ une demi-heure, de manière à faire aller un moulin, et puis l'écoulement cesse pendant une autre demi-heure. A l'époque où je l'ai observée, elle employait environ 10' à augmenter de niveau, 30' à couler

(1) Lamartinière, *Dictionnaire de géographie*.

(2) André de Cy, *Théorie de la terre*.

(3) Garnier, *Art du fontenier sondeur*, p. 45.

(4) Brisson, *Dictionnaire de physique*, art. *Fontaines*.

plein, et 35 à baisser de niveau. A peine avait-elle atteint le plus grand abaissement, qu'elle augmentait de nouveau; elle roulait environ dix fois plus d'eau dans sa plus grande crue que dans sa plus grande baisse. Vraisemblablement la distance entre le point où l'eau sort du siphon et celui où elle aboutit au jour, ainsi que le mélange des eaux provenant de réservoirs particuliers, étaient la cause des différences entre ses intermittences et celles qui ont lieu lorsqu'une eau se verse, sous nos yeux, par un siphon.

La nature et la disposition des couches minérales peuvent encore donner lieu à une sorte de sources ou de fontaines que nous ne saurions passer sous silence dans ce Traité. Le phénomène se produit dans les terrains composés de masses ou couches perméables à l'eau, recouvertes ou alternant avec des couches imperméables. L'eau qui pénètre et s'enfonce dans les premières, y est retenue comme dans un réservoir dont les secondes seraient les parois. Maintenant, si l'on vient à percer une de celles-ci en un point placé au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir, le fluide en sortira et il remontera, s'il est convenablement conduit, jusqu'à ce niveau, comme celui qui sort d'un orifice pratiqué dans les parois d'un vase remonte ou tend à remonter jusqu'à la hauteur qu'il occupait dans le vase. L'Artois présente de nombreux exemples de telles fontaines. Le sol de la partie occidentale de cette province est un calcaire crayeux très-fendillé, et par suite très-propre à se laisser pénétrer par les eaux qui tombent ou coulent dessus. En allant vers l'est, ce calcaire s'enfonce peu à peu sous le terrain de transport qui constitue les grandes plaines de la Flandre, et dont l'assise inférieure est une couche épaisse et très-étendue d'une argile compacte, tenace, homogène et entièrement imperméable à l'eau. Vers la jonction des deux terrains, sur la bande où la masse de transport n'a pas encore une épaisseur qui ne permette plus d'atteindre cette couche, si l'on descend une sonde, dès qu'elle a percé l'argile, l'eau, qu'elle tenait comprimée et comme captive au-dessous de son niveau dans la masse crayeuse, jaillit avec force; et, s'élevant dans le trou de sonde à vingt, trente, cinquante et jusqu'à cent mètres au-dessus de son extrémité inférieure, suivant les

localités, elle vient se verser à la surface du sol. De tels trous de sonde, revêtus d'une charpente convenable, empruntant leur nom du pays où ils sont généralement usités, sont des *puits artésiens*. M. Garnier, qui en a fait une étude particulière, vient de composer un ouvrage dans lequel, après avoir indiqué les caractères géognostiques des contrées où ils doivent être recherchés, donne tous les détails relatifs à leur établissement (1).

Les sources sont en général, et toutes choses égales d'ailleurs, plus abondantes dans les montagnes que dans les plaines. Les principales raisons de cette différence peuvent provenir :

1.<sup>o</sup> De ce qu'il pleut davantage sur les pays montagneux (S. 19). Les montagnes exercent une action sur les nuages. Lorsque l'atmosphère commence à se troubler, c'est ordinairement autour de leurs cimes que se forment les premiers ; c'est près d'elles qu'ils se tiennent et s'accumulent le plus souvent (2). Ce fait de la plus grande quantité d'eau qui tombe sur les lieux élevés, est confirmé par l'expérience directe : d'après les observations qui viennent d'être faites durant dix ans, il tombe annuellement à Genève, au pied des Alpes, vingt-quatre pouces huit lignes d'eau, terme moyen ; et à moins de vingt lieues de distance, sur le haut de ces montagnes, au

(1) *De l'art du fontenier-sondeur et des puits artésiens*, par M. Garnier, Ingénieur au corps royal des mines.

Ce Mémoire a été couronné par la Société pour l'encouragement de l'industrie dans la séance du 3 Octobre 1821. Le Gouvernement, le regardant comme d'un intérêt public, en a ordonné la publication.

(2) Quelle est la nature de l'action que les montagnes exercent sur les nuages ? Ce n'est point un effet de leur force attractive, ainsi qu'on le dit communément : si cette force portait contre une montagne un nuage éloigné, du moment qu'il serait en contact, elle agirait avec plus d'énergie sur des molécules qui sont absolument indépendantes les unes des autres, elle les précipiterait contre les flancs de la montagne et ferait disparaître ainsi le nuage. La mer rejette ordinairement près des côtes les corps flottés : il en est vraisemblablement de même de l'océan aérien, par rapport aux vapeurs dont il est chargé.

convent du grand Saint-Bernard, on a cinquante-neuf pouces trois lignes, c'est-à-dire plus du double (1).

2.° Il se fait vraisemblablement sur les sommets des montagnes une plus grande quantité de précipitation invisible de vapeurs; en d'autres termes, les rosées y sont plus abondantes, au moins dans de certaines circonstances. Bergmann rapporte, d'après Mercator, qu'il ne pleut jamais dans l'île de *San-Thomé*; mais que dans le milieu il y a une grande montagne couverte de forêts, qui est continuellement entourée de nuages, et d'où il découle des ruisseaux qui fertilisent tout le pays (2). On a observé, dans des dunes, des sources qui tarissaient lorsque la saison était sèche, et qui recommençaient à couler lorsque le temps devenait humide; si des dunes, dit Bergmann, attirent l'humidité de l'air et la résolvent en eau, que ne feront pas à cet égard les hautes montagnes?

Les arbres, les plantes, les mousses, qui sont sur les montagnes, ne peuvent manquer de contribuer à y favoriser la formation des sources. Outre leur action sur la condensation des vapeurs suspendues dans l'air, la fraîcheur qu'ils répandent autour d'eux, et l'obstacle qu'ils opposent aux rayons du soleil, lesquels ne peuvent atteindre le sol qu'ils recouvrent, empêchent ou du moins diminuent considérablement l'évaporation des eaux tombées sur ce sol; ils les contraignent en quelque sorte à s'y enfoncer et à y produire des sources. C'est à la destruction des forêts, opérée au milieu des troubles de la révolution dans quelques-unes de nos provinces, que l'on y attribue la diminution des eaux courantes.

3.° Les glaces et les neiges qui recouvrent les sommités des hautes montagnes, fournissent un aliment continuel à un grand nombre de sources qui sortent de leur pied, même durant les plus grandes sécheresses; et c'est précisément dans ces temps, à l'époque des plus grandes chaleurs, lorsque les autres sources diminuent, que celles-ci augmentent, et contribuent ainsi à maintenir l'existence et la force des grands courants d'eau qui coulent à la surface de la terre.

(1) *Bibliothèque universelle*, tom. 37, p. 219.

(2) *Phyikalische Beschreibung der Erdkugel*, S. 70.

La forme des montagnes, leur élévation au-dessus du sol environnant, leur moins de perméabilité à l'eau que le terrain des plaines, en général, etc., contribuent à faire bientôt réparaître au jour les eaux pluviales, et par conséquent à y rendre les sources plus nombreuses que dans les régions basses.

## NOTE VIII.

### *Des îles produites par les volcans.*

Les écrivains de l'antiquité parlent souvent des îles que l'on a vu sortir du sein des mers de la Grèce. « Les célèbres îles de Délos et de Rhodes, dit Pline le naturaliste, sont, d'après ce qu'on rapporte, nées dans les flots; ensuite on en a vu paraître de plus petites, telles qu'*Anaphé*, au-delà de Mélos, « *Nea*, entre Lemnos et l'Hellespont; *Alone*, entre Lébédos et Théos; *Thera* et *Therasia*, au milieu des Cyclades, la quatrième année de la cent trente-cinquième olympiade; « *Hiera* ou *Autemate*, située entre les deux précédentes, et « formée cent trente ans après. De notre temps, cent dix ans après, sous le consulat de M. Junius Silanus et L. Balbus, « le 8 avant les ides de Juillet (l'an 19 de notre ère), a paru « *Thia*. » (Liv. II, ch. 88 et 89.) Nous observerons au sujet de ce passage que Pline ne donne que comme une simple tradition ce qu'il dit de l'origine de Délos et de Rhodes; origine qui, comme on sait, était liée avec les fables de la Mythologie des anciens; qu'il règne la même incertitude au sujet d'*Anaphé* (aujourd'hui *Namphio*); que ce que nous avons vu arriver dans les mêmes parages au commencement du siècle dernier, rend très-croyable l'origine attribuée à *Therasia*, *Hiera* et *Thia*; que *Thera* (aujourd'hui *Santorin*), d'après les remarques du P. Hardouin, existait déjà, au moins en partie, à l'époque ci-dessus assignée à sa formation; et cette partie existante est calcaire.

Strabon dit positivement qu'*Hiera* fut produite au milieu des

flammes (1). Plutarque et Justin rapportent que sa formation fut accompagnée de beaucoup de feu et d'une grande ébullition dans la mer. Sénèque nous a conservé les détails exacts de la formation de ces îles au milieu de l'Archipel. Il nous apprend qu'elles étaient produites par l'entassement des pierres que les agents volcaniques lançaient en l'air, tantôt sans les avoir considérablement changées, tantôt après les avoir réduites à l'état de ponce, et qu'enfin la sommité de ce tas paraissait au-dessus des eaux (2). D'après ces témoignages, il est évident que toutes ces îles de la mer de la Grèce, que les anciens disent avoir vu sortir du sein des flots, ne sont que des cimes de montagnes volcaniques (3).

De pareilles formations se sont renouvelées depuis et à diverses époques dans ces mêmes parages. Il paraît qu'en 726, l'île d'Hiera reçut un nouvel accroissement, et qu'en 1457 (ou en 1575), toujours dans le golfe de Thera et au milieu des convulsions volcaniques, il se forma un nouvel îlot, à peu près dans le même emplacement où avait paru *Thia* sous le consulat de Silanus, et qui s'était ensuite engloutie dans les

(1) *Medio inter Theram et Therasiam loco, à mari flamma emicuerunt per dies quatuor, adeo ut totum ferveret mare, eoque paulatim elatam veluti instrumentis insulam à massis compositam ediderunt, ambitu XII stadiorum.*

(2) Voici les expressions de Sénèque : *Majorum nostrorum memoria, ut Possidonius tradit, cum insula in Aegeo mari surgeret, spumabat interdum mare et fumus ex alto ferebatur. Nam demum producebat ignem, non continuum sed ex intervallis emicantem, fulminum more, quotiens ardor inferius jacentis superum pondus evicerat. Deinde saxa revoluta, rupesque partim illasæ, quas spiritus, antequam verteretur, expulerat, partim exesæ et in levitatem pumicis versæ : novissima cacumen montis emicuit. Postea altitudini adjectum et saxum illud in magnitudinem insula crevit. Idem nostra memoria, Valerio Asiatico cons. (l'an 47), iterum accidit.... (Quæst. nat., II, c. 26.)*

(3) Voyez de plus grands détails sur ces îles dans la savante dissertation de M. Raspe, intitulée : *Specimen historiarum naturalis Globi terraquei, præcipue de novis e mari natis insulis*; et dans la *Chorographie de la Grèce*, par M. Malte-Brun, au tom. X de sa *Géographie universelle*.

flots. Enfin, au commencement du dernier siècle, il s'est produit encore une nouvelle île au milieu de celles qui existaient déjà. Comme nous avons des relations authentiques de ce singulier phénomène, et qu'elles peuvent mettre à même d'apprécier ceux du même genre, je vais exposer, en abrégé, les circonstances principales de cette formation.

Le 23 Mai 1707, au lever du soleil, on vit en mer, à une lieue des côtes de l'île de Santorin, un rocher flottant. Des matelots le prirent pour un bâtiment qui allait se briser, et ils se dirigèrent vers lui dans l'intention de le piller. Arrivés auprès, et ayant vu ce que c'était, ils eurent le courage d'y descendre, et ils en rapportèrent de la pierre ponce et quelques huîtres qui y étaient adhérentes. Le rocher n'était vraisemblablement qu'une grande masse de ponces que le tremblement de terre, qui avait eu lieu deux jours auparavant, avait détachée du fond de la mer. Au bout de quelques jours, il se fixa et forma ainsi une petite île, dont la grandeur augmenta de jour en jour. Le 14 Juin elle avait huit cent mètres de circuit, et sept à huit de haut; elle était ronde et formée d'une terre blanche et légère (ponces et *peperino*). A cette époque la mer commença à s'agiter, et il se fit sentir dans l'île une chaleur qui en empêcha l'accès; une forte odeur de soufre se répandit tout à l'entour. Le 16 Juillet on vit paraître tout près dix-sept à dix-huit rochers noirs; le 18 il en sortit, pour la première fois, une fumée épaisse, et on entendit des mugissements souterrains; le 19 le feu commença à paraître, et son intensité augmenta graduellement. Dans les nuits, l'île semblait n'être qu'un assemblage de fourneaux qui vomissaient des flammes. Son volume s'accroissait, et l'infection devint insupportable à Santorin. La mer bouillonnait fortement, et jetait sur les côtes des poissons morts; les bruits souterrains étaient semblables à de fortes décharges d'artillerie; le feu faisait de nouvelles ouvertures, d'où il sortait des pluies de cendres et de pierres enflammées, qui retombaient quelquefois à plus de deux lieues de distance (1). Ceci était de choses dures pendant un an.

(1) *Histoire de l'Académie*, 1708.



Le 15 Juillet 1708, le P. Gorré, jésuite, s'approcha de l'île, et voici le compte qu'il rendit de son voyage : « Nous eûmes  
« soin de nous fournir d'un caïque bien callaté... Nous fîmes  
« tirer droit à l'île par un endroit où la mer ne bouillonnait  
« pas, mais où elle fumait beaucoup. A peine fûmes-nous en-  
« trés dans la fumée, que nous sentîmes une chaleur étouf-  
« fante. Nous mîmes la main dans l'eau, et nous la trouvâmes  
« brûlante. Nous étions pourtant encore à cinq cents pas de  
« l'île. N'y ayant pas d'apparence de pousser plus loin par là,  
« nous tournâmes vers la pointe la plus éloignée de la grande  
« bouche. Les feux qui y étaient encore, et la mer qui jetait  
« de gros bouillons, nous obligèrent de faire un long circuit,  
« et encore sentions-nous bien de la chaleur... Nous allâmes  
« descendre à la *grande Camæni* (Hiera), et nous eûmes la  
« commodité d'examiner, sans beaucoup de danger, la nou-  
« velle île. Elle pouvait bien avoir deux cents pieds de haut,  
« un mille dans sa plus grande largeur, et environ cinq milles  
« de tour... En abordant à Santorin, nos mariniers nous firent  
« remarquer que la grande chaleur de l'eau avait emporté  
« presque toute la poix de notre caïque, qui commençait à  
« s'ouvrir de tous côtés. »

M. de Choiseul, qui visita les lieux en 1776, dit que, pen-  
dant dix ans après sa formation, le volcan de la nouvelle île  
eut plusieurs éruptions, et qu'actuellement il est entière-  
ment dans l'inaction. « L'eau n'est plus chaude en aucun en-  
« droit, dit-il; on n'y remarque même aucune exhalaison :  
« on voit seulement sortir par ses côtés une grande quantité  
« de bitume et de soufre qui nagent sur les eaux sans s'y  
« mêler. »

L'île de Santorin, dont la surface est d'environ huit lieues  
carrées, présente un vaste golfe, demi-circulaire, qui a quatre  
lieues de diamètre, et dont la sonde n'a pu atteindre le fond.  
Le cercle tracé en entier passerait par l'île *Therasia* (aujour-  
d'hui *Aspronisi*), qui en suit la courbure. Dans le milieu se  
trouvent trois petites îles dont nous avons parlé : on les nomme  
*Camæni*, c'est-à-dire brûlées. Les rochers qui bordent le golfe  
sont noirs, calcinés, vitreux, et de la nature de l'obsidienne :  
ils s'élèvent à plus de deux cents mètres au-dessus du niveau

de l'eau ; le reste de l'île est calcaire. Il paraît, d'après cela, que ce golfe est un ancien cratère, immense à la vérité, et dont une partie s'est éboulée dans la mer ; que *Therasia* est un vestige de ses bords ; que le volcan auquel il appartient brûle encore sous le fond de la mer, et que, dans ses grandes crises, il a produit les trois petites îles du milieu. Quant à Santorin, il paraît que, bien loin de devoir son origine aux feux souterrains, ainsi qu'on pourrait l'inférer du passage cité de Pline, il a été déchiré et presque anéanti par eux (1).

L'archipel des Açores a quelquefois présenté les mêmes phénomènes que celui de la Grèce. En 1638, il y parut une île peu éloignée de Saint-Michel. En 1720, à la suite d'un grand tremblement de terre, il s'en forma une nouvelle entre Tercère et Saint-Michel : elle jetait beaucoup de fumée ; le fond de la mer voisine fut trouvé très-chaud : la hauteur de l'île, qui était d'abord assez considérable pour qu'on pût l'apercevoir à six lieues en mer, baissa bientôt au point qu'en 1722 elle était déjà à fleur d'eau (2).

En 1783, on vit une grande fumée sur la côte sud-ouest de l'Islande : la mer se couvrit de ponce jusqu'à une distance de plusieurs lieues. Il sortit, à un petit éloignement de la terre, une petite île qui vomissait une quantité prodigieuse de flammes et de ponce. Sa longitude et sa latitude furent déterminées ; le roi de Danemarck lui donna un nom ; mais, l'année suivante, lorsqu'on alla pour la reconnaître de nouveau, d'après un ordre exprès du gouvernement, on ne la retrouva plus : elle avait disparu.

Une nouvelle île s'est encore produite, il y a quelques années, sur la côte du Kamtschatka. Le 10 Mai 1814, vers deux heures après midi, par un temps calme et serein, on entendit tout à coup un bruit considérable, et on vit s'élever, à environ quatre cents mètres du rivage, des flammes et d'épais nuages de vapeurs, au milieu d'explosions dont le bruit était pareil à celui du canon ; d'énormes masses de terre et de

(1) Voyez les plans de ces îles et du golfe, dans le magnifique *Voyage pittoresque de la Grèce*, par M. de Choiseul.

(2) *Histoire de l'Académie*, 1722.

grosses pierres étaient lancées en l'air avec force. Cet état de choses dura jusqu'au soir : alors on vit paraître un petit îlot qui vomissait du bitume par plusieurs bouches. Dix jours après on chercha à y pénétrer ; on éprouva d'abord quelques difficultés à cause du bitume endurci qui l'entourait ; le sol s'élevait à trois mètres au-dessus de la mer, et il était entièrement recouvert d'une masse blanchâtre et pierreuse (1).

Tels sont les faits principaux que l'histoire nous a transmis relativement à la formation des îles par les feux souterrains : on voit que ce ne sont que des tas de pierres ponceuses, de scories, que les agents volcaniques ont amoncelées les unes sur les autres, et que souvent l'éboulement de ces matières incohérentes a ramené sous les eaux ces îles peu de temps après qu'elles en étaient sorties.

## NOTE IX.

### *De la diminution des eaux de la mer.*

La mer a couvert autrefois nos plus hautes montagnes. Le fait est si positif et si extraordinaire, que l'on présume bien que son explication a été l'objet des méditations des savants.

Les uns, avec Deluc, ont supposé qu'il y avait dans l'intérieur de la terre de grandes cavernes, et que, leurs voûtes s'étant enfoncées, elles avaient englouti une partie des eaux de l'Océan, lesquelles avaient ainsi baissé de niveau. Mais l'existence de ces immenses cavernes, quoique possible d'ailleurs, n'est indiquée par aucun fait ni même par aucune analogie. Au contraire, les observations ayant appris que le globe est plus dense dans son intérieur qu'à sa surface, et que sa densité moyenne est environ cinq fois plus grande que celle de l'eau, nous porteraient à retirer de cet intérieur, plutôt qu'à y porter, de grandes parties de la mer.

Si les eaux ne se sont pas enfoncées dans l'intérieur du globe, il faut de toute nécessité que, se réduisant en vapeurs, elles

---

(1) *Annals of philosophy*, 1814.

aient abandonné notre planète et soient passées dans d'autres parties de l'univers. Demaillet, peut-être à l'insinuation de l'ingénieur Fontenelle, avait déjà émis cette opinion. Quelque extraordinaire qu'elle paraisse, et quoiqu'elle ne soit en aucune manière une conséquence, soit directe, soit indirecte des faits connus, elle ne présente rien d'impossible, et elle a eu même quelque apparence de probabilité aux yeux du premier des météorologistes, géologue d'ailleurs aussi réservé que judicieux; Saussure, dans ses excellents *Essais sur l'hygrométrie* (§. 273), après avoir remarqué que le froid des hautes régions de notre atmosphère retient et emprisonne sur notre globe et autour de lui toute l'eau qui est à sa surface; que sans ce lien, après s'être réduite en vapeurs, traversant les régions où l'air est extrêmement rare, elle se serait répandue dans le vide immense qui sépare les corps célestes et aurait laissé notre terre aride et déserte, ajoute : « Cependant il n'est pas impossible que, malgré ce lien, il ne s'en échappe encore quelques portions qui se mêlent avec l'éther et qui abandonnent ainsi notre planète. Ces pertes, accumulées pendant une longue suite de siècles, pourraient même produire enfin, ou avoir déjà produit, une diminution sensible dans les eaux de notre globe. »

Werner, qui inclinait vers cette opinion, observe que peut-être un de ces corps célestes qui s'approchent quelquefois d'assez près de la terre, aurait pu, dans son passage, lui enlever une portion de son atmosphère, et, par suite, de ses eaux.

Les montagnes ont été formées dans le sein des eaux; c'est incontestable : mais s'ensuit-il que la masse générale des mers ait éprouvé une diminution? Cela n'est plus aussi positif; et peut-être, ont dit quelques auteurs, des causes particulières, telles qu'un changement de position dans l'axe de la terre, auront simplement déplacé les mers, et mis à découvert ce qui était autrefois dans leur sein. Mais, d'abord, ce que nous avons dit sur la figure de la terre, suffit pour montrer que, depuis la formation ou la consolidation de son écorce minérale, il n'y a pas eu de changement notable dans la position de l'axe de rotation; et, en second lieu, ce changement ne ramènerait jamais sous les eaux un grand nombre des mon-

tagnes coquillières qui y ont été formées. Par exemple, nous avons, presque sous l'équateur, à Guancavelica, des couches calcaires remplies de coquilles, et qui sont maintenant à quatre mille trois cents mètres au-dessus de l'Océan. Tout changement dans la position de l'axe terrestre ne pourrait qu'abaisser encore davantage les eaux au-dessous de ces couches, ou du moins il ne saurait les hausser.

Hutton, Playfair, etc., allant plus loin encore, diront : Les montagnes, il est vrai, ont été formées dans le sein des mers : c'est positif ; mais si elles n'y sont plus aujourd'hui, ce n'est pas une raison pour que les eaux aient été autrefois à la hauteur de leur sommet actuel. Après leur formation, elles et nos continents peuvent avoir été soulevés au-dessus du niveau de l'ancien océan et mis dans leur position actuelle. Il me semble que, pour nous sortir d'un embarras, on nous jette dans un bien plus grand ; parce que nous sommes en peine de faire baisser le niveau, pour ainsi dire mobile, des mers ; on nous propose de hausser le niveau solide de la terre ferme ! Au moins il n'y avait point d'impossibilité dans les moyens indiqués pour l'abaissement du premier ; quelques considérations pouvaient même permettre de s'y arrêter quelques instants : mais un soulèvement général des continents répugne à toutes nos connaissances sur la configuration de la surface du globe, sur la disposition des masses minérales qui la composent, sur les phénomènes de la direction des couches (§. 146), ainsi qu'à toutes les idées que ces connaissances peuvent suggérer. Les phénomènes du redressement des couches, de l'exhaussement de quelques petites portions de terrain qui ont été portées un peu au-dessus du niveau des portions adjacentes, lors de l'affaissement de celles-ci, par une sorte de refoulement, ainsi qu'on le voit dans les houillères ; les phénomènes de la production des monts volcaniques (§. 82 et 106), etc., sont des faits d'un tout autre genre, et on ne peut comparer des objets de différente espèce : c'est un des premiers principes des sciences naturelles.

Au reste, si l'on avait, par suite d'observations positives, des preuves de la diminution réelle des eaux des mers actuelles, on pourrait s'abstenir de toute hypothèse à ce sujet.

Encore ici, comme dans un grand nombre de cas géognostiques, on admettrait le fait avec ses conséquences immédiates, sans s'inquiéter de la cause.

Plusieurs savants ont, en conséquence, cherché à constater cette diminution des mers actuelles. Des académiciens d'Upsal, Linné et Celsius entre autres, se sont spécialement occupés de cet objet. Ils firent faire, en 1731, une entaille à fleur d'eau sur une roche qui baignait la mer Baltique, au nord de *Loesgrund*. Treize ans après la mer se trouva de six pouces suédois (0,18 mètre) plus basse. Une autre marque tracée sur un rocher, dans le port de Vasa, indiqua au bout de vingt-cinq ans un abaissement de cinq pœues (0,15 mètre). Plusieurs autres observations, sur la diminution de profondeur dans les ports, sur la réunion de bras de terre autrefois séparés par les eaux, indiquèrent encore un abaissement de niveau dans la Baltique. Quelques-unes des preuves alléguées trouvèrent des contradicteurs dans le sein même de l'académie. Brovalius et quelques autres s'élevèrent surtout contre l'extension que l'on voulait donner à une conséquence qui ne concernait qu'une localité. Bergmann, témoin de toute cette discussion, la résume, en disant : que les preuves données en faveur de la diminution des eaux de la mer, la rendent extrêmement probable ; que cependant elles ne sont pas à l'abri de toute objection ; mais que celles qu'on a faites ne lui paraissent point prouver que la diminution n'a pas lieu (1). D'après des observations plus récentes, l'abaissement de la Baltique continuerait encore : il serait de quatre pieds, par siècle, au fond du golfe de Bothnie, de deux à Calmar, et nul dans la partie méridionale : un fait aussi extraordinaire ne saurait être dû qu'à une circonstance locale et ne saurait fournir aucune conséquence sur la diminution des eaux des mers en général.

On a fait encore en Italie un grand nombre d'observations sur l'élévation respective du niveau de la mer et de celui des côtes, et leur ensemble semblerait même prouver un exhaussement plutôt qu'un abaissement dans le premier. Par exemple,

---

(1) *Physicalische Beschreibung der Erdkugel*, §. 152.

l'ancien pavé de la cathédrale de Ravenne serait aujourd'hui à un demi-pied au-dessous du niveau des eaux, et on ne peut supposer qu'il ait été établi dans une position si désavantageuse. M. Breislak remarque que, dans l'île de Caprée, quelques pavés d'un des palais de Tibère sont maintenant couverts par les eaux. Au reste, des affaissements du sol peuvent avoir aussi produit ces changements de position respective. M. Breislak lui-même observe que les phénomènes du temple de Jupiter Sérapis, près de Pouzolle, présentent tout à la fois des indices d'abaissement et d'élévation. Si le pavé en est maintenant un peu au-dessous de la mer, d'un autre côté trois colonnes de marbre qui sont debout, et qui montrent, à une hauteur de dix pieds, sur une zone de six pieds de large, une multitude de traces de vers marins, sembleraient indiquer que, depuis que les colonnes sont en place, la mer a été de seize pieds plus élevée qu'aujourd'hui (1). Au reste, nous nous garderons bien de tirer la moindre conséquence de ces faits isolés et contradictoires. Nous ne les rapportons ici que parce qu'il en est souvent question dans les discussions géologiques. Nous nous bornerons à observer que les descriptions des géographes anciens indiquent que nos côtes avaient, il y a près de vingt siècles, leur forme actuelle, et que les observations des savants français en Egypte, sur la position de quelques monuments placés près du niveau de la mer, ne dénotent aucun changement sensible dans son élévation depuis l'érection de ces monuments.

On a cherché encore dans les monuments de la nature des preuves de l'abaissement des mers. M. Playfair pense que les côtes de l'Angleterre en présentent de manifestes; Cook et d'autres navigateurs en ont vu encore dans les régions équatoriales et dans la mer du sud; les professeurs Donat et Pini ont observé, sur des rochers peu élevés au-dessus de la Méditerranée, des trous et des indices de pholades absolument semblables à ceux qu'on voit maintenant sous les eaux, dans ces mêmes parages. Mais encore ces faits ne me paraissent pas

---

(1) M. de Gimbernat a fait voir, d'une manière aussi ingénieuse que probable, comment ce fait extraordinaire pouvait résulter d'une cause locale. *Bibliothèque universelle*, 1819.

assez concluants : ils semblent dépendre uniquement des localités.

Je dois ici remarquer que l'augmentation de la différence de niveau entre la surface des eaux et quelques points observés sur la terre ferme, qui était, pour les savants suédois, une preuve de l'abaissement de cette surface, n'est, aux yeux de M. Playfair, qu'une preuve de l'exhaussement des points observés ; car, dit-il, on ne saurait admettre l'abaissement du niveau des mers en un point, sans l'admettre aussi sur toute la surface de l'Océan. Or, les observations faites dans nos ports, prouvent que cet abaissement général n'a pas lieu. M. de Buch, témoin de l'abaissement de la Baltique sur plusieurs points, en conclut que le sol de la Suède entière s'élève peu à peu, depuis Frédéricshall jusqu'à Abo, et peut-être jusqu'à Pétersbourg. Il remarque cependant que les observations faites sur la côte opposée, le long de l'Atlantique, ne déposent pas aussi manifestement en faveur de l'exhaussement (1). On ne saurait admettre une conséquence aussi extraordinaire, avant que les faits dont on veut la déduire n'aient été constatés dans tous leurs détails.

Werner remarque que, s'il était bien prouvé que le niveau des mers se maintient exactement à la même hauteur, on pourrait en conclure la diminution des eaux ; car les graviers, sables et limons que les fleuves portent dans leur sein, et qui en exhausseraient nécessairement le fond, devraient aussi en élever le niveau si la quantité d'eau restait la même. Manfredi, après avoir prouvé directement l'exhaussement du fond de l'Adriatique, conclut, d'une suite de longs calculs, que le niveau général des mers devrait s'élever de six pouces en trois cent quarante-huit ans, par l'effet des matières chariées par les fleuves.

En résumé, soit que la mer ait été autrefois à un niveau bien plus élevé, ainsi que cela paraît incontestable aux yeux de presque tous les naturalistes ; soit même qu'elle ait été à un niveau inférieur au niveau actuel, ainsi que la forme de quelques vallées et parties de la terre ferme là où elles s'en-

---

(1) *Voyage en Norvège*, tom. 2, p. 278.



foncent sous les eaux, pourrait porter à le croire, nous pouvons conclure que l'ensemble de nos observations indique qu'il n'y a point eu de changement sensible dans le niveau général des mers depuis les temps historiques.

Les eaux sont-elles arrivées à leur niveau actuel par l'effet d'un abaissement subit, d'une révolution sur le globe, d'où daterait l'ordre actuel des choses, ainsi que le pensent MM. Deluc, Cuvier, etc.; ou bien par l'effet d'une diminution graduelle, dans un ordre de choses dont le nôtre serait une continuation non interrompue, comme le croyaient Linné, Bergmann, Werner, etc.? Je n'oserais prononcer, quoique d'ailleurs l'examen des parties basses de nos continents et de nos terrains de transport donne une plus grande probabilité à la première de ces deux opinions.

## NOTE X.

### *Des principaux systèmes de géogénie.*

L'examen des divers modes dont le globe terrestre a pu être formé, c'est-à-dire des divers systèmes de géogénie, est étranger à ce traité. On peut voir l'exposition et la réfutation d'une cinquantaine de ces systèmes dans la *Théorie de la Terre* par Lamétherie. Cependant, afin de ne pas renvoyer à un autre ouvrage la connaissance de ceux qui fixent, à cette époque, l'attention des minéralogistes, et dont la discussion se mêle continuellement aux dissertations géognostiques, je vais donner une idée très-succincte de ceux de Buffon, Deluc, Hutton, Laplace et Herschell.

Buffon a supposé qu'une comète, passant avec rapidité près du soleil, globe de matière embrasée et bouillonnante, avait choqué une portion de sa surface, l'avait détachée et lancée dans l'espace; et que cette portion, en se réunissant autour de divers centres, avait produit les différentes parties du système planétaire, et par suite la terre. Celle-ci était donc dans l'origine une masse en fusion (de nature vitreuse ou quartzreuse). Elle se refroidit et se consolida d'abord à sa surface;

Système  
de Buffon.

une partie des vapeurs qui constituaient l'immense atmosphère de ce globe de feu se condensa, se réduisit en eau et forma les mers. Celles-ci attaquèrent la croûte consolidée, la délayèrent, en prirent les éléments en dissolution, les remanièrent, et les laissant ensuite tomber, sous forme de précipités, elles donnèrent naissance à nos masses et couches minérales. Ces mêmes mers, par leurs mouvements et par leurs courants, sillonnèrent l'écorce qu'elles venaient de former, et produisirent de cette manière les montagnes et les vallées. L'exposition de ce système a procuré à notre littérature deux de ses chefs-d'œuvre : le *Discours sur la théorie de la terre*, et les *Époques de la nature*. Quel que soit le jugement que l'on porte sur le fond du système, on n'en trouve pas moins à chaque page de ces écrits la grandeur dans les vues et l'élevation dans le style, qui ont si justement fait dire de ce digne historien de la nature, *majestati naturæ par ingenium*.

Système  
de Deluc.

Deluc, commentateur de la version de Moïse sur la formation de la terre, a combattu, pendant trente ans, avec une ardeur et une constance infatigables pour la défense d'un système que je vais faire connaître, en me tenant aussi près que possible des expressions de l'auteur. Le premier coordonnateur de cet univers a primitivement formé nos globes dans les lieux où ils sont. Originellement ils étaient composés de *pulvicules* ou éléments secs et incohérents. La lumière fut créée et le soleil devint lumineux : ses rayons, arrivant sur la terre, y développèrent la cause de la chaleur : les pulvicules de l'eau devinrent liquides jusqu'à une certaine profondeur ; l'eau prit alors en dissolution une partie des pulvicules des autres corps ; une autre partie d'entre eux, descendant au milieu d'elle, par son poids, alla se déposer au fond de cette mer, c'est-à-dire sur la partie non fondue encore par la chaleur ; elle y forma une *vase* (S. 90) ; les pulvicules en dissolution se réunirent d'après les diverses lois de l'affinité, ils cristallisèrent et formèrent sur la vase une croûte solide : ce sont les terrains primitifs. La résolution de l'eau pulviculaire en liquide continuant, il se fit des vides sous la croûte ; elle se brisa, et ses parties s'affaissèrent. Les eaux extérieures, pénétrant dans ces cavernes, diminuèrent à la surface ; de nouveaux pulvicules

vinrent se mêler dans la dissolution, et il se forma de nouvelles couches. A une certaine époque, les piliers qui soutenaient une grande portion de la croûte manquèrent; elle s'affaissa tout à coup; les eaux extérieures éprouvèrent une grande diminution, et les continents de l'ancien monde furent mis à sec: ils se peuplèrent d'animaux terrestres et de végétaux; la mer se peupla aussi. Des affaissements partiels continuèrent encore à avoir lieu et de nouvelles couches à se former. Enfin, les masses de pulvicules, ou piliers, qui soutenaient les continents, devenant liquides, ces terres s'affaissèrent; « la mer, se versant sur les parties affaissées (c'est le déluge universel), abandonna son ancien lit, qui est devenu nos continents actuels. C'est ici l'époque qui a conduit notre globe à son état actuel; car les effets des causes agissantes furent épuisés. Depuis, le niveau de la mer n'a pas changé, et il ne s'est plus formé de couches minérales; les dernières précipitations étaient de pur sable; \* c'étaient des pulvicules simplement concrétionnés. Lors des affaissements, des portions de terrain éprouvèrent un mouvement de bascule qui, en précipitant dans des gouffres profonds une des branches de la bascule, souleva l'autre à de grandes hauteurs: telle est l'origine des vallées et des montagnes (§. 103).

Un des derniers combats de Deluc est contre un système très-accrédité en Angleterre, dont Hutton est l'auteur, et qui doit ses succès aux talents et à l'éloquence de son commentateur, Playfair. En voici le court exposé: Les continents sont en proie à l'action destructive de l'atmosphère et de l'eau; leur masse se décompose et s'éboule; les débris en sont portés et étendus au fond des mers. La chaleur souterraine, favorisée par la compression de la grande masse d'eau qui recouvre ces lits, exerce son action sur eux. Elle ne fait que pénétrer, amollir et consolider les supérieurs, qui deviennent nos couches stratifiées; mais elle fond entièrement ceux qui sont au-dessous et qui forment nos granites, nos diabases, nos *whin*. La chaleur, par sa force expansive, a souvent poussé et injecté cette matière fluide dans les couches; de là les veines et filons granitiques qu'on y trouve quelquefois. Enfin, par suite de cette même force expansive, elle a soulevé ces couches et ces

Système  
de Hutton.

masses; elle les a élevées au-dessus du niveau des eaux et les a mises dans leur position actuelle, et elle a ainsi formé de nouveaux continents. A leur tour, ils sont attaqués par les agents de destruction; leurs débris sont étendus sur la superficie des anciens continents, au-dessus desquels la mer s'est retirée; il s'y forme de nouvelles couches, qui seront également soulevées et deviendront de nouveaux continents. Cette succession continuelle de destructions et de formations et élévations durera jusqu'à ce qu'il plaise à Dieu d'y mettre une fin. A-t-il jamais plu à Dieu qu'un pareil ordre de choses eût un commencement? J'en doute (1).

Système  
de Laplace.

Laplace, après avoir pris en considération toutes les parties de notre système planétaire, et tous leurs divers mouvements, en déduit une hypothèse qui n'est en opposition avec aucun des faits astronomiques observés, et qui en explique une grande partie. « La considération des mouvements planétaires nous conduit à penser, dit-il, qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbites de toutes les planètes, et qu'elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles; ce qui peut avoir eu lieu par des causes semblables à celle qui fit briller de plus vif éclat, pendant plusieurs mois, la fameuse étoile que l'on vit tout à coup, en 1572, dans la constellation de Cassiopée.... On peut conjecturer que les planètes ont été formées aux limites successives de cette atmosphère, par la condensation des gaz qu'elle a dû abandonner dans le plan de son équateur, en se refroidissant et en se condensant à la surface de cet astre. Les zones de vapeurs ont dû former par leur refroidissement des anneaux liquides ou solides autour du corps central; mais ce cas extraordinaire ne paraît avoir eu lieu dans le système solaire que relativement à Saturne. Elles se sont généralement réunies en plusieurs globes, et quand l'un d'eux a été assez puissant pour attirer à lui tous les autres,

---

(1) Voyez le développement et la défense de ce système dans les *Illustrations of the huttonian theory*, par Playfair, 1802. Cet ouvrage a été traduit en français, ainsi que la réfutation que Murray a faite du même système.

leur réunion a formé une planète considérable... On peut conjecturer encore que les satellites ont été formés d'une manière semblable par les atmosphères des planètes.<sup>22</sup> D'après cette hypothèse sur l'origine du monde, que Laplace présente avec la défiance que doit inspirer tout ce qui n'est point un résultat de l'observation ou du calcul, la terre serait comme une concrétion de matière originairement gazeuse.

Les dernières observations d'Herschell sur le système du monde semblent donner un nouveau poids à cette opinion. Cet habile observateur, dans ses remarques sur la matière nébuleuse qui est disséminée dans l'espace, pense que cette matière éthérée a pu produire par sa condensation les étoiles et les planètes. Il croit avoir encore remarqué que le noyau de quelques comètes diminue de volume dans le voisinage du périhélie, et qu'il augmente ensuite lorsque l'astre s'éloigne de ce point. Vraisemblablement, dans le premier cas, la chaleur du soleil réduit à l'état de vapeur une partie de la masse du noyau, et cette vapeur redevient solide lorsque la chaleur diminue.

**Idées  
d'Herschell.**

Un pareil mode de formation concernerait l'intérieur ou le noyau du globe; car d'ailleurs, dans ces hypothèses, comme dans celle de Buffon, l'écorce de la terre, objet des observations du géologiste, pourrait toujours avoir été produite dans le sein d'une vaste mer, résultant de la condensation de cette prodigieuse quantité de vapeurs aqueuses (ou de nature analogue), qui entouraient nécessairement ces globes ignés, et qui étaient mêlés avec les vapeurs ou gaz qui ont produit les corps solides.

## NOTE XI.

### *De la température du globe terrestre.*

Nous allons d'abord jeter un coup d'œil sur les causes de la chaleur terrestre et sur leurs effets généraux. Nous passerons ensuite aux faits observés, et nous tâcherons d'en déduire les lois que suit la chaleur sur le globe, soit lorsqu'on s'avance sur sa surface, soit lorsqu'on s'enfonce au-dessous dans les entrailles de la terre, soit enfin lorsqu'on s'élève au-dessus dans l'atmosphère.

## PREMIÈRE PARTIE.

*Des causes de la chaleur du globe.*

Nous connaissons et nous avons ici à considérer trois sources particulières de chaleur.

La plus manifeste, comme celle qui produit presque tous les phénomènes de température observés à la surface du globe, est le soleil.

Notre planète, placée au milieu des astres innombrables qui composent le vaste univers, en reçoit encore des émanations calorifiques.

Enfin, elle renferme, dans son intérieur, comme un foyer d'une chaleur qui lui est propre.

Sans ces causes, la terre serait entièrement dépourvue de chaleur, si toutefois il était possible qu'un corps existât réellement dans cet état; le froid y serait absolu. Quel est ce froid absolu? Il nous est difficile d'en concevoir même l'idée. Un physicien distingué, M. Clément, a émis l'opinion qu'il devrait répondre au 267.<sup>e</sup> degré au-dessous du point de congélation de l'eau sur le thermomètre centigrade. Cette assertion a été contestée, il est vrai; mais toujours est-il positif que le degré de froid absolu est infiniment au-dessous de tous ceux que le thermomètre nous a indiqués jusqu'ici: à l'air libre, nous n'avons pas vu cet instrument à  $-51^{\circ}$ , et dans les laboratoires de chimie les mélanges frigorifiques ne l'ont pas fait encore descendre au-dessous de  $-70^{\circ}$ .

Voyons le mode d'action des causes indiquées.

*Chaleur solaire.* Les rayons du soleil, qui tombent sur un corps, y produisent ou développent de la chaleur. Il est en conséquence naturel d'admettre que la quantité de chaleur produite sera en raison de la quantité de rayons reçus. Pour les diverses parties du globe cette dernière quantité (abstraction faite de la diffraction des rayons dans l'atmosphère) sera d'autant plus grande, que ces parties seront plus perpendiculairement exposées à la direction des rayons, ou, en langage

mathématique, que le sinus d'incidence sera plus grand. Or, l'angle d'incidence moyen est le complément de la latitude : l'action solaire sera donc, pour chaque contrée, proportionnelle au cosinus de sa latitude. Par suite, elle sera nulle aux pôles ; et le froid y serait absolu, si le soleil n'exerçait que l'action directe dont nous venons de parler.

Mais il est encore une action indirecte de cet astre, source de lumière et de chaleur. Ses rayons, lorsqu'ils tombent sur une portion de la terre, y sont en partie absorbés et en partie réfléchis dans l'espace. Les premiers seuls élèvent la température de cette portion : en s'éteignant, ils produisent une chaleur obscure, laquelle se communique de proche en proche en tendant à l'équilibre. Elle se porte des régions équatoriales qui en reçoivent beaucoup, et vers les régions polaires qui en reçoivent peu, et vers l'intérieur du globe qui n'en reçoit point. Par suite de ces absorptions et communications successives et long-temps répétées, la température a dû augmenter à la surface, jusqu'à ce que cette surface, l'écorce de la terre, ait été en quelque sorte saturée de chaleur solaire, et que les pôles eux-mêmes, qui n'avaient rien reçu directement, en aient pris une portion dépendante de leur position. Leur température sera en quelque sorte la température fondamentale de la terre : tout ce qu'il y aura de plus aux autres latitudes peut être regardé comme l'effet de l'action directe du soleil.

Au-delà du terme de saturation, ce qui arrivera encore de chaleur solaire vers l'équateur se dissipera vers les pôles.

De même chaque point de la surface terrestre a pris une température moyenne, telle qu'il y a maintenant équilibre entre les causes qui tendent à y accumuler le calorique et celles qui tendent à l'en priver : ce qu'il gagne durant six mois de l'année, il le perd dans les six mois suivants, et, en définitive, au bout d'une ou de plusieurs années, la température se retrouve la même.

Mais l'observation dépose-t-elle en faveur de cette fixité des climats ? N'y a-t-il plus actuellement augmentation ou diminution de chaleur ? L'invention des thermomètres ne remontant qu'à deux cent trente ans, et celle des thermomètres

comparables qu'à cent vingt, il est impossible de répondre d'une manière précise à cette demande. Toutefois, en recueillant les faits que l'histoire nous a transmis relativement aux grands froids et aux grandes chaleurs, à la congélation des fleuves et des mers, on ne voit point que la température ait éprouvé aucune diminution depuis mille et deux mille ans (1). Il n'y aurait de légère augmentation que dans les contrées où l'homme aurait changé l'état de la superficie, par exemple, en abattant des forêts et les remplaçant par des terres labourables. Ainsi, l'observation nous porte à admettre que l'état de la température sur la terre est fixé depuis long-temps, et la théorie nous autorise à croire que cet état se conservera indéfiniment, tant qu'il ne surviendra pas de changement dans la marche actuelle de la nature.

*Chaleur de l'espace.* La terre, placée dans l'immensité de l'espace, au milieu d'un nombre infini de globes lumineux ou obscurs, visibles ou invisibles, échauffants ou échauffés, par suite des transmissions réciproques d'une matière extrêmement subtile et rayonnante, qui tend à se porter des corps qui en ont plus vers ceux qui en ont moins; la terre, dis-je, a dû prendre une partie de la température de ces globes; elle s'y sera ajoutée à la chaleur solaire. M. Fourier, qui, le premier, a insisté sur cette température générale de l'espace, pense qu'elle est à peu près égale dans tous les points de la portion de l'univers occupée par le système planétaire; qu'elle est peu inférieure à celle des pôles terrestres, et que c'est principalement à elle que notre globe doit sa température fondamentale.

L'atmosphère dont ce globe est entouré et les eaux qui recouvrent une partie de la terre ferme sont comme une enveloppe qui retient à sa surface une portion de la chaleur qu'elle avait d'abord laissé passer. On sait que les corps transparents donnent un libre passage à la chaleur lumineuse, et qu'ils

---

(1) Voyez l'énumération d'un très-grand nombre de ces faits dans les *Annales de physique et de chimie*, tom. 27. L'auteur du Mémoire, M. Arago, a recueilli en outre, et disposé dans un ordre très-méthodique, une multitude d'observations aussi curieuses qu'intéressantes sur la température à la surface de la terre.



mettent obstacle à celui de la chaleur obscure : ainsi les rayons calorifiques du soleil et des étoiles, après avoir traversé en tout ou en partie l'atmosphère et les mers, atteignant la surface de la terre, s'y convertissent en chaleur obscure, laquelle, ne pouvant plus, dans ce nouvel état, repasser aussi librement à travers le même milieu, reste et s'accumule sur cette surface.

*Chaleur interne.* Indépendamment des causes extérieures de chaleur dont nous venons de parler, le globe en renferme une qui lui est exclusivement propre. Lorsqu'on s'enfonce au-dessous de sa surface, la température y devient de plus en plus forte; elle croît d'environ un degré du thermomètre centigrade par 35 mètres d'enfoncement, ainsi que nous le verrons par la suite. Cet accroissement a été reconnu dans toutes les profondeurs que l'homme a pu atteindre, soit dans les régions basses, soit dans les régions élevées.

Mais les plus grandes profondeurs où le thermomètre a été porté ne sont guère que de six cents mètres, et ne sont pas ainsi la dix-millième partie du rayon terrestre. Il serait bien hasardeux, en conséquence, de vouloir conclure des faits observés ce qui se passe au centre du globe. Cependant, comme l'accroissement de température observé n'a pas éprouvé de diminution dans les points les plus bas, on est fondé à croire qu'il se continue long-temps encore, et qu'à de très-grandes profondeurs la chaleur doit être très-forte. Si cet accroissement était toujours de 1° par 35 mètres, il faudrait s'enfoncer de 3500 mètres pour atteindre le terme de l'eau bouillante, de sept myriamètres pour atteindre celui de la fonte de fer (1), et de 33 pour arriver à celui auquel le fer lui-même fond (2) : le rayon terrestre en a 637.

L'imagination s'est emparée promptement de ces faits et de ces

(1) D'après l'ingénieur anglais Tredgold, la fonte de fer fond à 3479° Fahrenheit, ou 1915° centigrades.

(2) Le fer fond à 130° du pyromètre de Wedgwood. Le 0° de ce pyromètre correspond à 580° de notre thermomètre, et chaque degré pyrométrique a 72 degrés thermométriques. *Chimie de Thénard*, 1824.

aperçus, et l'on nous représente déjà l'intérieur du globe comme une masse de pierre en fusion. Toute notre planète aurait été primitivement dans le même état, et par l'effet du refroidissement sa surface serait devenue telle que nous la voyons aujourd'hui. On renouvelle ainsi l'hypothèse du *feu central*, suite du système géogénique de Descartes et de Buffon, et que Mairan et Bailli avaient appuyé de leurs calculs et de leurs écrits.

Au reste, il serait encore très-possible que la chaleur intérieure fût un effet de l'action chimique que les substances qui composent la masse du globe exercent les unes sur les autres, lorsqu'elles se trouvent à même de se combiner diversement; et il est très-positif que la chaleur de quelques-unes des eaux thermales n'a pas d'autre cause. Nous en verrons plus bas un exemple: le foyer est au-dessus et non au-dessous de la source.

Il serait encore possible que la chaleur intérieure de la terre fût une suite de l'action électrique, résultat du contact médiat ou immédiat de divers corps.

Mais elle ne saurait être un effet de l'action solaire, puisque cette action doit nécessairement aller en diminuant, à mesure qu'on s'enfonce, tandis que la chaleur va en augmentant.

M. Fourier, qui, dans ces dernières années, a donné une très-savante théorie analytique de la propagation de la chaleur dans les corps solides, et qui en a fait une heureuse application aux questions relatives à la température du globe terrestre, M. Fourier, dis-je, regardant ce globe comme un corps originairement incandescent, et qui se refroidit par suite de sa position dans un espace plus froid, admettant en outre que, dans la même croûte minérale que nous avons reconnue, la température croît d'un degré par trente mètres de profondeur, conclut :

1.<sup>o</sup> Que le refroidissement, et par suite la progression croissante de la chaleur, à mesure qu'on s'enfonce, a été autrefois beaucoup plus rapide qu'elle ne l'est aujourd'hui;

2.<sup>o</sup> Qu'il faut plus de trente mille ans pour que la raison de la progression diminue de moitié, c'est-à-dire qu'elle ne soit plus que d'un demi-degré par trente mètres;

3.<sup>o</sup> Que l'effet de la chaleur interne est maintenant presque nul à la surface du globe; qu'il n'y élève pas le thermomètre d'un trentième de degré;

4.<sup>o</sup> Que, depuis près de deux mille ans, cet effet n'y a pas diminué d'un trois-centième de degré; et que nous retrouvons encore ici ce caractère de stabilité que présentent tous les grands phénomènes de l'univers.

Les effets des trois causes de chaleur que nous venons d'indiquer peuvent être considérés séparément, et puis ils s'ajoutent les uns aux autres. Nous allons voir l'effet total.

## SECONDE PARTIE.

### *Résultats de l'observation sur la chaleur du globe et sur sa distribution.*

Passons aux faits observés, ainsi qu'aux conséquences que l'on peut en déduire, sur la chaleur réelle du globe et sur les lois de sa distribution.

#### ART. 1.<sup>er</sup> *A la surface du globe.*

*Température sur la surface.* Plaçons-nous d'abord immédiatement au-dessus de cette surface, dans la couche inférieure de l'atmosphère où nous vivons et où presque toutes les observations thermométriques ont été faites.

Celles de M. de Humboldt et de quelques autres savants donnent 28° du thermomètre centigrade pour la température moyenne sous l'équateur, un peu au-dessus du niveau de la mer.

L'autre terme extrême de la température terrestre, celui du pôle, ne peut être directement déterminé. Les plus hardis navigateurs n'ont pas dépassé le 82.<sup>o</sup> degré de latitude, et ils étaient encore à deux cents lieues du but. S'il était permis de conclure des observations qui ont été faites dans les terres et les mers septentrionales de l'Europe, jusqu'à 78° de latitude, et d'après la loi que suivent les résultats de ces observations, on trouverait pour la température au pôle — 18°.

## 444 TEMPÉRATURE DU GLOBE TERRESTRE.

En allant de ce point vers l'équateur, l'ensemble de nos observations thermométriques indique un accroissement en température à peu près proportionnel au cosinus de la latitude. On aurait donc pour expression de la température d'un point de la surface du globe, dont la latitude serait  $L$ .

$$46 \cos. L - 18.$$

Le tableau suivant mettra à même d'apprécier le degré d'exactitude des résultats de cette formule :

| LIEU<br>DE L'OBSERVATION.       | LATITUDE. | TEMPÉRATURE<br>MOYENNE |           | DIFFÉRENCE. |
|---------------------------------|-----------|------------------------|-----------|-------------|
|                                 |           |                        |           |             |
|                                 |           | OBSERVÉE.              | CALCULÉE. |             |
| Cap-Nord. . . . .               | 71 10'    | — 2,1                  | — 3,2     | — 1,1       |
| Eyasford (Islande) . . . . .    | 66 30     | + 0,6                  | + 0,3     | — 0,3       |
| Christiania (Norwège) . . . . . | 59 55     | 4,9                    | 5,1       | + 0,2       |
| Upsal . . . . .                 | 59 52     | 5,5                    | 5,1       | — 0,4       |
| Stockholm . . . . .             | 59 20     | 5,7                    | 5,5       | — 0,2       |
| Edimbourg . . . . .             | 55 57     | 8,4                    | 7,8       | — 0,6       |
| Copenhague . . . . .            | 55 41     | 7,7                    | 7,9       | + 0,2       |
| Londres . . . . .               | 51 30     | 10,2                   | 10,6      | + 0,4       |
| Paris . . . . .                 | 48 50     | 11,0                   | 12,2      | + 1,2       |
| Bordeaux . . . . .              | 44 50     | 13,6                   | 14,6      | + 1,0       |
| Rome . . . . .                  | 41 53     | 15,7                   | 16,3      | + 0,6       |
| Naples . . . . .                | 40 50     | 17,4                   | 16,8      | — 0,6       |
| Cumana . . . . .                | 10 27     | 27,7                   | 27,3      | — 0,4       |

Une partie des différences que présente ce tableau peut provenir ou d'une erreur de l'observation, et il en est bien peu dont on puisse répondre à un demi-degré près, ou de quelque circonstance locale. Ainsi, vu l'exposition au nord du thermomètre de l'observatoire royal, qui a donné, pour Paris, la température moyenne de  $11^{\circ},0$ , je serais fortement enclin à croire que celle qui est propre à cette localité est  $11^{\circ},5$  plutôt que  $11^{\circ},0$ .

On observe qu'il ne s'agit ici que des moyennes températures de l'année. Les variations, autour du terme moyen, sont, dans nos latitudes, de  $20$  à  $25^{\circ}$ , tantôt dans un sens, tantôt dans un autre : au dernier siècle, on a vu à Paris le thermomètre à  $-23$  et à  $+38^{\circ}$ .

Sous la zone torride, dans l'Indostan, on l'a vu en plein air à  $+ 45^{\circ}$ , et dans l'Amérique boréale à  $- 50^{\circ}$ . On aurait ainsi une différence de près de cent degrés entre les températures réellement observées dans l'atmosphère et à l'ombre, et le terme de congélation de l'eau serait à peu près au milieu.

*Température de la couche superficielle de la terre.* Si, au lieu de prendre pour la température de la surface du globe celle de l'air qui repose immédiatement dessus, nous prenons, ce qui semble plus convenable, celle de la surface même, nous bornant toutefois à la couche de quinze ou vingt mètres d'épaisseur, au bas de laquelle les variations annuelles en température ne se font plus ressentir, et où, par conséquent, le thermomètre reste constamment au même point, nous trouverons un ordre de choses un peu différent; les variations d'un point à un autre seront moindres.

La température de la terre la plus septentrionale de l'Europe, au Cap-Nord, ne descend pas au-dessous de  $+ 2^{\circ}$  à six mètres de profondeur, tandis que nous avons vu celle de l'air, dans le même lieu, à  $- 2^{\circ}$ ; et en observant la progression que suit la chaleur à mesure qu'on s'avance vers le pôle, on conclura que, s'il y avait des terres à ce point, leur température ne serait que de un ou deux degrés au-dessous de zéro.

Du pôle à l'équateur l'accroissement de la chaleur paraît aussi moins rapide. Les rayons solaires semblent agir sur la surface de la terre, non-seulement en raison de leur quantité, mais encore en raison de leur *perpendicularité*: ainsi, leur action serait en raison doublée du sinus de leur incidence. Aussi le célèbre astronome Tobie Mayer avait-il établi que la diminution de température de l'équateur au pôle était proportionnelle au carré du sinus de la latitude; de sorte que  $E$  étant la température à l'équateur, celle à une latitude quelconque serait, d'après lui,

$$E - m \sin.^2 L$$

$m$  étant un coefficient constant à déterminer par les observations. Celles qui sont faites à Paris depuis près de cent cinquante ans, dans les caves de l'observatoire royal, sur des thermomètres placés à 28 mètres au-dessous de la surface du

## 446 TEMPÉRATURE DU GLOBE TERRESTRE.

sol et à environ 40 mètres au-dessus du niveau de la mer, indiquent une température presque constante et de  $12^{\circ},08$  (1). On a ici  $L = 48^{\circ} 50'$ , et, d'après cela,  $E$  étant toujours  $28^{\circ}$ ,  $m$  sera  $28^{\circ},06$ . La formule de Mayer deviendra donc

$$28 - 28^{\circ},06 \sin.^2 L \text{ ou } 28 (1 - \sin.^2 L) \text{ ou } 28 \cos.^2 L;$$

expression remarquable par sa simplicité, et que le tableau suivant, colonne A, montre pouvoir être employée, sans erreur notable, dans la zone tempérée, pour représenter la température de la couche superficielle du globe.

Des considérations théoriques, exposées dans un Mémoire que j'ai publié il y a plus de vingt ans (2), m'avaient porté à admettre pour expression de cette même température  $31^{\circ} \cos.^2 L$ , laquelle, comme on le voit colonne B, la représente encore plus exactement. Les quantités observées ont été fournies par des puits ou de fortes sources.

| LIEU<br>DE L'OBSERVATION. | LATITUDE. | TEMPÉRATURE |           |      |
|---------------------------|-----------|-------------|-----------|------|
|                           |           | OBSERVÉE.   | CALCULÉE. |      |
|                           |           |             | A.        | B.   |
| Le Caire (Égypte) . .     | 30° 2'    | 22,5        | 21,0      | 22,2 |
| Toulouse . . . . .        | 43 36     | 14,5 (3)    | 14,7      | 15,0 |
| Paris . . . . .           | 48 50     | 12,1        | 12,1      | 12,1 |
| Londres . . . . .         | 51 29     | 10,8        | 10,9      | 10,7 |
| Cork (Irlande) . . .      | 51 54     | 10,6        | 10,7      | 10,5 |
| Dublin . . . . .          | 53 20     | 9,6         | 10,0      | 9,7  |
| Eniscow (Irlande) . .     | 54 48     | 9,3         | 9,3       | 9,0  |
| Bellycastle . . . . .     | 55 12     | 8,9         | 9,1       | 8,8  |
| Stockholm . . . . .       | 59 20     | 7,5         | 7,3       | 6,8  |
| Tornéo . . . . .          | 65 51     | 3,0         | 4,6       | 4,1  |
| Wadsoë (Cap-Nord) .       | 70 20     | 2,3         | 3,2       | 2,7  |

(1) M. Arago, ayant remarqué un défaut de graduation dans le thermomètre employé; a réduit cette quantité à  $11^{\circ},7$ . Nous laissons subsister  $12^{\circ},08$  comme représentant le degré qu'indiquerait le thermomètre s'il était descendu jusqu'au niveau de la mer.

(2) *Journal de physique*, tom. 62; 1806.

(3)  $13^{\circ},8$  est le résultat direct de l'observation; mais comme Toulouse est à 146 mètres au-dessus du niveau de la mer, on aurait  $14,5$  à ce niveau.

Le détail des observations relatives à chaque localité est donné dans mon Mémoire précité.

Il faut remarquer que les formules qui viennent de nous donner, avec une exactitude assez satisfaisante, la température à la surface de la terre, ne sont applicables qu'à la bande peu élevée de l'ancien continent qui borde les mers d'Europe; au-delà de cette bande, en allant vers l'est comme vers l'ouest, et en suivant toujours le même parallèle, la chaleur diminue, et cela d'autant plus rapidement, qu'on avoisine davantage les pôles. Dans la zone torride la diminution n'est pas sensible : elle l'est notablement dans la zone tempérée; ainsi, la température est à Pékin de 5° plus basse qu'à Naples; à Varsovie elle est de 3° au-dessous de celle d'Amsterdam. Mais c'est vers l'ouest, dans le nouveau continent, et surtout dans les régions boréales, que la différence est considérable, ainsi qu'on le voit par le tableau suivant. Les observations qui y sont rapportées, ont été faites, ces dernières années, par les capitaines Parri et Franklin, lesquels ont passé des hivers et des années presque entières dans quelques-unes des îles les plus septentrionales de l'Amérique: ils y ont été des mois entiers sans voir le thermomètre au-dessus de  $-27^{\circ}$ : des moyennes mensuelles ont donné  $-30^{\circ}$  et  $-32^{\circ}$ : ils ont supporté, sans en être sensiblement incommodés, lorsque le temps était calme, des froids de  $-46^{\circ}$ : ils ont même vu le thermomètre à  $-50^{\circ}$ .

Les résultats de leurs observations sont réduits à la moyenne de l'année. Nous les comparons avec ceux que la formule  $46 \cos. 2 L - 18$  eût donnés pour une même latitude sur la côte occidentale de l'Europe.

| LIEU<br>DE L'OBSERVATION. | LONGITUDE           | LATITUDE. | TEMPÉRAT. MOYENNE |           |
|---------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|
|                           |                     |           | OBSERVÉE.         | CALCULÉE. |
| Cumberland's-Island.      | 104 $\frac{1}{2}$ . | 54°       | -0,5              | +9,0      |
| Nain.                     | 57                  | 57 7'     | -3,0              | +7,0      |
| Fort de l'entreprise.     | 115                 | 64 30     | -9,2              | +1,8      |
| Winter-Island.            | 85                  | 66 12     | -12,5             | +0,6      |
| Juglouluk-Island.         | 84                  | 69 30     | -13,9             | -1,9      |
| Melville-Island.          | 113                 | 75 —      | -18,5             | -6,1      |

Ainsi, dans les points du nouveau continent que nous venons de citer, la température moyenne est de  $10^{\circ}$  à  $12^{\circ}$  moindre que dans l'ancien continent sur la même parallèle. Les lignes de même température, ou *lignes isothermes*, ne sont donc pas sur notre globe des parallèles à l'équateur. Elles s'en éloignent davantage, en se repliant par leurs extrémités vers le pôle, à mesure que l'on en approche, mais cela d'une manière très-irrégulière. M. de Humboldt, dans un Mémoire sur ces lignes (1), a présenté des considérations très-intéressantes à leur sujet, c'est-à-dire sur la température moyenne de l'année à différents points du globe; et il a fait voir que la détermination de cette moyenne, pour un lieu, était loin de suffire à la connaissance de son climat, ainsi qu'aux conséquences que l'agriculture et la physiologie pouvaient en déduire. Ces conséquences dépendent de l'intensité et de la durée du chaud et du froid que l'on éprouve réellement en ce lieu dans les différentes saisons de l'année.

L'élément qui, après la latitude, influe le plus sur la température d'une contrée, est son élévation au-dessus du niveau de la mer. Nous verrons, dans la suite de ce Mémoire, que lorsqu'on s'élève dans l'atmosphère, la chaleur y décroît, terme moyen, de  $1^{\circ}$  du thermomètre centigrade par 160 mètres de hauteur; mais celle des terres élevées, participant tout à la fois et de la température de l'air ambiant et de celle du globe, diminue dans un moindre rapport. La diminution est d'autant moindre, que la masse de terrain est plus considérable en volume: ainsi, tout étant égal d'ailleurs, la température sera plus froide sur la cime d'une montagne isolée que sur le milieu d'un large plateau. M. de Humboldt, comparant la chaleur qui règne dans les vastes plaines de Mexico et de Quito, élevées de deux à trois mille mètres au-dessus de l'Océan, avec celle des côtes les plus voisines, a trouvé que le décroissement était de  $1^{\circ}$  par 230 à 250 mètres d'élévation, tandis que Saussure n'a guère eu que 160 mètres, d'après les observations faites sur différentes sommités des Alpes. Celles qu'on a faites sur le mont Saint-Bernard indi-

(1) Mémoires de la société d'Arcueil, tom. 3.



quent environ 200. Je crois qu'on peut admettre cette dernière détermination comme terme moyen et conclure que, *par suite de l'élévation d'une contrée au-dessus du niveau de la mer, la température y est moindre d'un demi-degré pour chaque cent mètres de hauteur.* Il est inutile de rappeler qu'une telle règle ne saurait être donnée que comme approximative.

La formule  $28 \cos.^\circ L.$ , indique, dans une latitude moyenne de 30 à 60°, une diminution d'environ un demi-degré en température pour chaque degré d'accroissement en latitude : ainsi, et *sous le rapport de la diminution en température, une élévation de cent mètres équivaut à peu près à un avancement d'un degré de latitude vers le pôle.*

Parmi les causes générales qui influent encore sur la température des diverses parties des continents, je citerai le voisinage des mers. L'eau, par suite de sa nature et de sa transparence, prend moins de chaleur que la terre. Dans les environs de Marseille, on a vu cette dernière aller jusqu'à 53°, tandis que celle de la mer ne s'y est jamais élevée à 25°. Nulle part, sous les tropiques, on ne l'a trouvée de 31°, et sur les plages adjacentes elle va à 65 et 70°. De même l'eau ne se refroidit jamais autant que la terre : le savant auquel nous devons les observations au voisinage de Marseille, que nous venons de mentionner, rapporte y avoir vu à terre le froid de  $-7^\circ,1$  ; mais que celui de la mer n'a pas excédé  $+7^\circ,5$ . De plus, les vents qui agitent les mers et leurs courants, mêlent continuellement les eaux des diverses profondeurs et des diverses latitudes, et il doit en résulter une plus grande uniformité de température que sur les continents. Cette uniformité se communique aux régions voisines par l'effet des mouvements de l'atmosphère ; de sorte que, près des bords de la mer, il fera moins chaud que sous la zone torride, et moins froid vers les cercles polaires que dans l'intérieur des continents.

Ce sera peut-être encore à la plus grande quantité de mers, dans l'hémisphère austral, qu'il faudra attribuer la moindre chaleur qui règne, dit-on, dans cet hémisphère au-delà d'une certaine latitude. Des observations faites en dernier lieu dans la Nouvelle-Galles, par les 33° 49' de latitude, ont donné 16° pour la température de la terre, à huit mètres de

profondeur, et  $17^{\circ},3$  pour celle de l'air. Nos formules auraient indiqué, dans l'hémisphère boréal,  $19^{\circ},3$  pour le premier cas, et  $20^{\circ},2$  pour le second.

Indépendamment des causes générales que je viens de signaler, il en est encore de particulières à chaque localité, et qui concourent à en porter la température moyenne au-dessus ou au-dessous du terme indiqué par sa latitude, sa longitude, son élévation et son voisinage des mers. Telles sont l'exposition du sol par rapport aux divers points de l'horizon, les chaînes de montagnes qui les abritent des vents chauds ou des vents frais, la nature même du sol, lequel, par une plus grande blancheur, peut donner lieu à une plus forte réverbération. L'effet de ces causes particulières est souvent très-considérable. C'est ainsi que sur le revers méridional des Alpes, dans la large vallée d'Aoste, à  $46^{\circ}$  de latitude, j'ai vu des vignes jusqu'à 1200 mètres de hauteur; et à 800 elles produisent encore des vins muscats très-forts, tandis qu'au pied septentrional des Pyrénées, au  $43^{\circ}$  degré de latitude, il n'y a plus de vignes à cette dernière élévation et même à 700 mètres: à 400 ou 500 elles ne donnent que des produits très-faibles, tant en quantité qu'en qualité.

#### ART. 2. *Température au-dessous de la superficie du globe.*

Si on s'enfonce au-dessous de la partie de la couche superficielle où les variations annuelles en température cessent de se faire sentir, en allant vers l'intérieur du globe, on y trouve la chaleur croissant progressivement et dans un rapport assez rapide.

Ce fait, qui avait été autrefois admis par quelques savants, était regardé comme erroné ou particulier aux localités dans lesquelles il avait été observé, et généralement on pensait que la température dans l'intérieur de la terre était constante et égale, au moins dans nos latitudes moyennes, à  $12^{\circ}$  environ. Mais il y a vingt-cinq ans que des observations que je fis aux mines de Freyberg, en Saxe, avec un soin particulier et dans des circonstances variées, me portèrent à m'élever contre

cette assertion, et à conclure que l'accroissement de température indiqué par le thermomètre ne pouvait être attribué qu'à un accroissement de chaleur dans la masse minérale au milieu de laquelle on s'enfonçait. De nombreuses expériences, publiées depuis, ont mis ce fait hors de tout doute.

Déjà au milieu du siècle dernier, Gensanne, directeur des mines de Giromagny, dans les Vosges, avait conclu de diverses observations

qu'à 100 mètres de profondeur la température y était de 12°

à 308 . . . . . 18,8

à 433 . . . . . 23,1.

Mais les détails des observations ne me sont pas connus, et il est douteux que Gensanne ait voulu parler d'une profondeur verticale.

Saussure a été plus positif au sujet des expériences qu'il a faites aux mines de sel de Bex, dans un puits où personne n'était entré depuis trois mois.

A 108 mètres, la température d'un peu d'eau stagnante indiquait. . . . . 14,4

A 183, dans un boyau de galerie, on avait . . . 15,6

A 220, de l'eau salée ramassée au fond du puits, donnait. . . . . 17,4.

Une différence de niveau de 112 mètres donnait donc une différence de 3° de température : et par conséquent 37 mètres par degré.

Je n'entrerai point ici dans le détail des nombreuses observations que j'ai faites dans les mines de Freyberg. Je renvoie aux ouvrages (1) où j'ai d'abord consigné ces observations, et je me borne à présenter, dans le petit tableau suivant, les résultats de celles qui m'ont paru les plus concluantes.

Je rappellerai, avant, que la contrée de Freyberg est située sur le revers septentrional de la chaîne des montagnes dont le faite sépare la Saxe de la Bohême, au cinquante-unième degré de latitude et à quatre cents mètres au-dessus du niveau de la mer. Le climat y est froid, et la température moyenne n'y est guère

(1) *Journal des mines*, tom. XI, p. 517; tom. XIII, p. 143. — *Des mines de Freyberg et de leur exploitation*, tom. III, p. 151, 186 et 200.

que de 8°. Mes observations ont été faites en Janvier, Février, 1802 : durant tout cet hiver la terre était couverte de neige ; le thermomètre était resté constamment au-dessous du terme de congélation : il y était descendu à  $-18^{\circ}$ , et les jours des observations il marquait de  $-2$  à  $-4^{\circ}$ . Une partie des observations a été répétée en Mai, par une température extérieure de  $+12^{\circ}$ . Je remarquerai encore qu'aux mines de Freyberg, mines de plomb et d'argent, on ne connaît ni fermentation ni mouvement intestin dans les substances minérales qui puisse y occasioner quelque élévation particulière de température : de tous côtés, même dans les filons très-pyriteux, je n'ai vu que des masses froides et inertes.

A ces observations générales j'en ajoute quelques-unes particulières aux mines dans lesquelles ont été faites les expériences.

Celle de *Kühschacht*, la plus profonde de Freyberg, descend à 414 mètres ; le fond en est à une trentaine de mètres au-dessous du niveau de la mer. En 1800, elle avait été inondée jusqu'à soixante-dix mètres au-dessous de la superficie du terrain ; en 1862, l'épuisement y avait fait baisser le niveau des eaux jusqu'à trois cents mètres au-dessous de cette superficie ; ce qu'il en restait encore remplissait une excavation pareille à une fente d'un mètre de large et de 114 mètres de profondeur. Immédiatement au-dessus de l'eau, le thermomètre était à  $15^{\circ}$  ; tenu pendant long-temps à un pied au-dessous du niveau, il a marqué  $16^{\circ}$   $\frac{1}{2}$ .

Au fond de la mine de *Jung-Hohebirke*, la température a été encore prise dans une eau qui noyait la partie inférieure des travaux souterrains, et qui avait environ trente mètres de profondeur. Le thermomètre, qui y avait indiqué  $17^{\circ}$ , donnait une pareille indication à l'extrémité d'une galerie percée au même niveau, et à un assez grand éloignement de la mare.

Les températures de  $12^{\circ}$   $\frac{1}{2}$  et  $14^{\circ}$  à 220 et 260 mètres de profondeur, dans la mine de *Beschertglück*, ont été données par des eaux qui jaillissaient avec force du rocher. Cette force indiquait évidemment qu'elles avaient été pleinement en contact avec les parois des canaux qui les amenaient, et qu'ainsi elles en avaient pris la température ; et cette tem-

pérature a été la même en Janvier et en Mai. Cependant, comme elles venaient de lieux supérieurs à celui d'où elles sortaient, et par conséquent plus froids, elles auront aussi refroidi un peu les parois des canaux afférents, et par suite elles auront indiqué une température moindre que celle qui convient à la profondeur où l'expérience a été faite : effectivement les eaux stagnantes sur le sol de la galerie de 260 mètres de profondeur indiquaient 15°.

| PROFONDEUR | DÉSIGNATION DE LA MINE. |                   |                  |                     |
|------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
|            | BESCHERT-<br>GLÜCK.     | HIMMEL-<br>FAHRT. | KÜH-<br>SCHACHT. | JUNG-<br>HOHEBIRKE. |
| mètres.    |                         |                   |                  |                     |
| 0          | 8°                      | 8°                | 8°               | 8°                  |
| 80         | • • • • •               | • • • • •         | • • • • •        | 10                  |
| 100        | • • • • •               | 10                | • • • • •        | 10                  |
| 120        | 10                      | • • • • •         | • • • • •        | 11                  |
| 160        | • • • • •               | • • • • •         | • • • • •        | 12 $\frac{1}{2}$    |
| 180        | • • • • •               | 12 $\frac{1}{2}$  | • • • • •        | • • • • •           |
| 200        | • • • • •               | • • • • •         | • • • • •        | 14                  |
| 220        | 12 $\frac{1}{2}$        | • • • • •         | 12 $\frac{1}{2}$ | • • • • •           |
| 240        | • • • • •               | 14                | • • • • •        | 15                  |
| 260        | 14 et 15                | 14 $\frac{1}{2}$  | 14               | • • • • •           |
| 280        | • • • • •               | • • • • •         | • • • • •        | 16                  |
| 300        | 15 $\frac{1}{2}$        | • • • • •         | 15 et 16         | • • • • •           |
| 320        | • • • • •               | • • • • •         | • • • • •        | 17                  |

Ces observations m'ont porté et me portent à conclure qu'aux mines de Freyberg la température s'élève à mesure qu'on y descend, et qu'à trois cents mètres de profondeur elle excède d'environ huit degrés celle de la surface du sol. De plus, l'ensemble de ces observations, notamment dans la mine de Jung-Hohebirke, indique un accroissement assez égal d'environ 1° par 40 mètres d'enfoncement, ou de 1° par 35 mètres, en concluant des extrêmes.

Cette conclusion a été confirmée par de nouvelles expériences, faites postérieurement et avec des précautions jusqu'alors inusitées. En 1805, par ordre de M. de Trebra, directeur

général des mines de la Saxe, deux thermomètres ont été fixés dans des niches pratiquées à cet effet dans la roche, à la mine de *Bessertigluck*, derrière un châssis vitré et une petite porte : l'un à 180 mètres de profondeur, et l'autre à 260. Ils ont été observés régulièrement trois fois par jour, pendant deux ans, et ils ont toujours indiqué le même degré, sans la moindre variation, le premier se tenant à  $11^{\circ} \frac{1}{4}$ , et le second à  $15^{\circ}$ . Ce dernier résultat est exactement celui que j'avais obtenu au même lieu en 1802 (1).

A deux lieues au nord de Freyberg, dans la mine dite *Alte Hoffnung Gottes*, des thermomètres établis à poste fixe ont indiqué, à 72 mètres de profondeur. . . . .  $8^{\circ},75$

à 170 . . . . .  $12,8$

à 270 . . . . .  $15,0$

à 382 . . . . .  $18,75$ .

M. le directeur général conclut de ces expériences que la température augmente d'un degré par 38 mètres de profondeur, et il remarque qu'elles ont été faites dans des roches de gneis, lesquelles ne contenaient ni beaucoup de pyrites, ni d'autres substances susceptibles d'élever la température par suite d'une action chimique les unes sur les autres.

Si dans cette circonstance, comme dans beaucoup d'autres, les pyrites, même en se décomposant, ne produisent point de chaleur, il en est cependant où leur action calorifique est incontestable, ainsi que nous l'avons remarqué §. 87. Mes observations sur la température des mines de Poullaouen et de Huelgoat, en Bretagne, présentent un exemple de ces deux cas. Dans les premières, un thermomètre, placé à 140 mètres au-dessous de la superficie du sol, tant dans un creux pratiqué au milieu d'une masse de pyrites radiées en partie effluviées, que dans une eau qui sourdait au voisinage, n'a marqué

---

(1) La distance verticale entre les deux thermomètres étant, dit M. de Trebra, de 294 pieds de Leipsic, ou de  $83^{\text{m}},23$ , on aurait, par degré d'augmentation de chaleur,  $22^{\text{m}},30$  d'enfoncement, tandis que la comparaison entre la température à 260 mètres et celle à la superficie donnerait au moins 37; ainsi la chaleur augmenterait ici plus rapidement dans les profondeurs.

que  $14^{\circ},6$ ; la température de la surface du sol étant ici de  $11^{\circ},5$ , ce ne serait que  $3^{\circ},1$  pour une profondeur de 140 mètres, ou de  $1^{\circ}$  pour 45 mètres. Les mines d'Huelgoat sont à trois lieues à l'ouest de celles de Poullaouen; elles sont aussi ouvertes dans un schiste-phyllade (*Thonschiefer*), mais qui renferme des conches de schiste alumineux, contenant beaucoup de points pyriteux. Lorsque des tas de débris de cette roche sont exposés à l'action de l'atmosphère, les pyrites s'effleurissent, l'acide qui se trouve libre agit sur l'alumine, et il en résulte une production de chaleur. Un pareil effet a lieu sur des parties de la roche en place, où l'air atmosphérique pénètre vraisemblablement par quelques fissures. Les eaux qui filtrent dans ces parties, s'y chargent de sulfate et même d'acide; et elles y prennent une température supérieure à celle qu'elles eussent eue sans cette circonstance; un thermomètre, tenu au milieu d'un jet qu'elles formaient à l'extrémité d'une galerie et à 230 mètres au-dessous de la surface du sol, indiquait  $19^{\circ},7$ : en suivant la loi donnée par les expériences de Freyberg, il eût dû marquer  $17^{\circ},2$ . La température de la surface du sol étant ici de  $11^{\circ}$ , on a un accroissement de  $8^{\circ},7$  pour 230 mètres d'enfoncement, ou de  $1^{\circ}$  par  $26^{\text{m}},4$ . Cette plus grande rapidité dans l'augmentation de température est manifestement due, dans ce cas, à une cause étrangère (1).

Cette même cause aura très-vraisemblablement produit la rapidité d'augmentation que présentent les expériences faites dans le même terrain minéralogique, mais de l'autre côté de la Manche, aux mines d'étain et de cuivre de Cornouailles. Là encore le sol, au moins à la surface, est formé de schiste argileux et parfois alumineux.

Je cite quelques exemples de température trouvés dans les eaux qui étaient ou qui sourdaient au fond de ces mines (2).

(1) Voyez de plus grands détails sur la température des mines de Poullaouen et Huelgoat dans le tome 21 du *Journal des mines*.

(2) Les observations faites dans ces mines sont consignées dans les *Annales de chimie et de physique*, tomes 13 et 21.

|                                                                                                                                          | PROFON-<br>DEUR. | TEMPÉRA-<br>TURE. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Mine de cuivre où travaillent deux ouvriers                                                                                              | 82 <sup>m</sup>  | 15°,6             |
| Mine où travaillent quatre ouvriers . . . . .                                                                                            | 157              | 17°,8             |
| Mine où une mare d'eau occupait le fond. .                                                                                               | 195              | 17°,5             |
| Mine qui était dans le même cas . . . . .                                                                                                | 230              | 17°,2             |
| Mine où travaillent dix ouvriers. . . . .                                                                                                | 256              | 26°,7             |
| Dans les <i>United-Mines</i> une mare d'eau au fond                                                                                      | 330              | 26°,7             |
| Dans le même lieu, environ 400 ouvriers tra-<br>vaillant, une source abondante indique .                                                 | 330              | 30°,8             |
| Mine de <i>Wheal-Abraham</i> . . . . .                                                                                                   | 366              | 25°,6             |
| <i>Dolcoat-Mines</i> , dans l'eau . . . . .                                                                                              | 421              | 27°,8             |
| <i>Idem</i> , dans l'air. . . . .                                                                                                        | 421              | 26°,6             |
| <i>Idem</i> , un thermomètre enfoncé de trois pieds<br>dans le roc, constamment pendant dix-<br>huit mois consécutifs a indiqué. . . . . | 421              | 24°,2             |

Les grandes anomalies que présentent ces expériences me font craindre qu'on ne les ait pas faites dans des circonstances assez favorables pour en déduire des conséquences précises. Par exemple, la température d'un atelier où travaillent cent mineurs ne saurait être donnée comme celle de la roche à pareille profondeur. Comment, dans le même lieu, le thermomètre dans l'eau donne-t-il 27°,8, et enfoncé dans le roc, indique-t-il, pendant dix-huit mois, 24°,2? Au reste, ce dernier fait, lors même que de l'eau, passant sur des terrains en fermentation, y élèverait un peu la température, n'en est pas moins très-important. Le thermomètre est placé à 421 mètres au-dessous du sol, et à 311 mètres au-dessous du niveau de l'Océan. Son indication (24°,2), étant de 13°,2 supérieure à la température du sol, montre une augmentation en température de 1° par 32 mètres d'enfoncement.

Si l'action des pyrites en décomposition sur un schiste imprégné d'un peu de carbone en élève la température, à plus forte raison élèvera-t-elle celle des grandes masses de carbone,



c'est-à-dire des couches de houille, au milieu desquelles les travaux du mineur introduiront le principe de décomposition, l'oxygène de l'air atmosphérique. Par suite, les observations sur la température dans les houillères ne sauraient conduire à aucune conséquence sur celle de l'intérieur du globe. Elles doivent en général indiquer un accroissement beaucoup trop rapide. Toutefois celles qui ont été faites dans les principales mines de houille du nord de l'Angleterre, offrent des résultats moins extraordinaires que ceux qu'on pouvait présumer, ainsi qu'on le voit par le tableau suivant :

| DÉSIGNATION<br>DE LA MINE DE HOUILLE. | TEMPÉRATURE      |             | PROFON-<br>DEUR. | PROFON-<br>DEUR<br>pour<br>1°. |
|---------------------------------------|------------------|-------------|------------------|--------------------------------|
|                                       | à la<br>surface. | au<br>fond. |                  |                                |
| Whitehaven (Cumberland)               | 9°,4             | 15°,5       | mèt. 146         | mèt. 24                        |
| Teem (Durham) . . . . .               | 9°,4             | 16°,1       | 135              | 20                             |
| Workington (Cumberland)               | 8°,9             | 15°,6       | 154              | 23                             |
| Percy (Northumberland) .              | 9°,4             | 20°,0       | 270              | 25 $\frac{1}{2}$               |
| Iarrow (Durham) . . . . .             | 9°,4             | 20°,0       | 269              | 25 $\frac{1}{2}$               |
| Killingworth (Northumb.)              | 9°,4             | 23°,3       | 366              | 26                             |

Les températures au fond de ces mines ont été prises dans l'eau qui s'y trouvait.

M. de Humboldt a fait quelques observations sur la température des mines du Mexique, près Guanaxuato, où la température moyenne de la contrée est d'environ 16°. Il a trouvé à la mine de Valenciana, à une profondeur de 502<sup>m</sup> 36°,8 à la mine de Rayas . . . . . 193 33,7 aux mines de Villalpando . . . . . 134 29,4.

Mais encore ici ces observations sont entachées par un vice local; le terrain est volcanique, et il en sort des sources chaudes.

Revenant aux expériences de Freyberg, faites dans des roches granitiques, et par suite les plus propres à nous faire connaître

## 458 TEMPÉRATURE DU GLOBE TERRESTRE.

la température de la croûte minérale du globe, nous concluons, si l'on peut tirer une conséquence générale du très-petit nombre des faits observés, que, *dans la masse minérale qui forme l'écorce de la terre, la température augmente à mesure qu'on s'enfonce, et que cette augmentation est d'un degré par trente-sept mètres environ d'enfoncement, trente-cinq au moins.*

*Température des mers.* Ce fait si remarquable, l'accroissement de la chaleur au-dessous de la surface de la terre, semble contredit par les observations faites en mer. Ici on trouve au contraire une diminution.

Puisque, sous l'équateur, la température de l'air, comme celle de l'eau étant de  $31^{\circ}$ , Péron n'a plus eu,

à 390 mètres de profondeur, que . . .  $9^{\circ},4$

et à 700 mètres, que . . .  $7^{\circ},5$  (1).

Il en conclut que le terme de congélation n'était plus qu'à une petite profondeur au-dessous, et qu'au-delà tout n'était que glace.

Cependant, à une profondeur triple, le capitaine Sabine a retrouvé cette même température,  $7^{\circ},5$ ; et cela le 13 Novembre 1822, par  $20^{\circ}$  % de latitude nord, à l'aide d'un thermomètre à *minimum* descendu à une profondeur de 2246 mètres, lesquels équivalent vraisemblablement à plus de deux mille de profondeur verticale : la température à la surface était de  $28^{\circ},2$  (2).

Les intéressantes observations d'Irwing dans les mers septentrionales ont généralement montré une pareille diminution de température, ainsi qu'on le voit dans le tableau suivant, où nous donnons également quelques observations de Forster dans les mers australes (3).

(1) *Annales du Muséum d'histoire naturelle*, n.<sup>o</sup> 26.

(2) *Voyage au pôle boréal*, fait en 1773 par le capitaine Phipps, depuis lord Mulgrave.

(3) *Voyages de Cook*, tom. V.

| LATITUDE.             | TEMPÉRATURE DE |               |                    |           |
|-----------------------|----------------|---------------|--------------------|-----------|
|                       | L'AIR.         | LA MER.       |                    |           |
|                       |                | à la surface. | à la profondeur de |           |
| 64° australe. . . . . |                | 0,3           | 0,0                | 183 mètr. |
| 56. . . . .           |                | 0,0           | 0,5                | 183       |
| 35. . . . .           |                | 15,0          | 3,3                | 183       |
| 25. . . . .           |                | 21,0          | 19,5               | 146       |
| 60 boréale . . . . .  | 10°            | 10            | 6,7                | 120       |
| 60. . . . .           | 15             | 14            | 10,0               | 103       |
| 65. . . . .           | 19             | 13            | 4,4                | 1252      |
| 67. . . . .           | 9              | . . . . .     | -3,3               | 1430      |
| 67. . . . .           | 9              | . . . . .     | 0,0                | 1232      |
| 78. . . . .           | 7              | 4             | 0,5                | 214       |
| 78. . . . .           | 5              | . . . . .     | -0,5               | 216       |
| 80. . . . .           | 0              | 2,2           | 4,0                | 110       |

Saussure, auquel aucun genre d'observations relatives à la constitution et à la physique du globe n'était étranger, et qui en avait fait de si intéressantes sur la température de la terre, voulut aussi en faire sur celle des eaux. Il descendit des thermomètres convenablement disposés au fond de la mer, dans les environs de Nice et de Gênes, à 288 et 585 mètres de profondeur, et il y trouva une température de 13°. Opérant d'une manière analogue sur la plupart des lacs de la Suisse, il constata que la température de leur fond ne variait que de 4°,2 à 6°,9 ; quoique celle de la surface fût de 20 à 25°, et que les profondeurs variassent de 50 à 300 mètres : à ce dernier niveau, à quelques centaines de pas plus loin, dans la terre, il eût eu environ 20° (1).

Cette contradiction disparaît, et les résultats si extraordinaires et si peu concordants entre eux des observations sur la température des eaux, s'expliquent aujourd'hui bien facilement par l'état actuel de nos connaissances en physique. On sait :

1.° Que l'eau, à mesure qu'elle se refroidit, devient plus

(1) *Voyages aux Alpes*, §§. 1351, 1391, 1393 et suivants.

dense, mais jusqu'à  $4^{\circ}$  seulement; là elle est à son *maximum* de densité: si le refroidissement continue, le liquide se dilate, et lorsqu'il passe à l'état de glace, il est d'un dixième moins dense.

2.<sup>o</sup> Dans un mélange d'eaux de différentes températures, et par suite de différentes densités, les plus denses occupent les parties inférieures, et les autres se placent successivement dessus dans l'ordre de leur densité respective.

3.<sup>o</sup> L'eau étant un mauvais conducteur de calorique, la chaleur ne se propage guère, dans une masse fluide, d'un point à un autre que par suite de la mobilité des molécules; de sorte que lorsque le mouvement est arrêté, que chaque molécule est dans la position voulue par sa pesanteur spécifique, alors d'une couche à l'autre, il n'y a plus de communication notable de chaleur.

D'après cela, dans tous les grands réservoirs, où il se rend des eaux de différentes températures, comme dans les mers équatoriales qui reçoivent des courants venant des régions polaires et dans les lacs qui reçoivent des eaux provenant de la fonte des neiges et des glaciers, les molécules se rangeront par couches chacune de même température; et à mesure qu'on s'enfoncera la température de ces couches ira en diminuant jusqu'à un certain degré; puis elle pourra encore aller en diminuant ou en augmentant, et finalement au fond elle sera de  $4^{\circ}$ . Des eaux plus froides se porteront au-dessus, en prenant le rang assigné par leur densité respective: à  $0^{\circ},5$  l'eau étant plus dense qu'à  $0^{\circ}$ , sera au-dessous de celle-ci, comme Forster l'a trouvé an  $56^{\circ}$  degré de latitude australe. Le long de l'immense calotte de glace qui couvre les environs des pôles, les eaux n'étant qu'à quelques degrés au-dessus de zéro, leur température ira en augmentant en profondeur; aussi le docteur Irwing, après les avoir trouvées de  $2^{\circ}$  à la surface, les a eues à  $4^{\circ}$  au fond. Je remarquerai que ce fond était d'ailleurs une argile molle, dans laquelle la sonde s'enfonçait de quelques brasses; elle était par conséquent au-dessus du terme de congélation.

ART. 3. *Température dans l'atmosphère.*

La croûte du globe, échauffée par les diverses causes que nous avons indiquées, devient comme un foyer qui émet de la chaleur tout autour de lui : les diverses couches de l'atmosphère la reçoivent et en prennent d'autant plus qu'elles sont plus près de la surface, et qu'elles sont plus denses. Elles en reçoivent encore directement une certaine quantité des rayons solaires qui les traversent ; mais cette quantité, qui est nulle dans les hautes régions où l'air est parfaitement transparent, n'est encore que bien petite dans les régions inférieures ; elle y est d'autant plus sensible que l'air est plus chargé de vapeurs qui altèrent sa transparence.

Par la réunion de ces causes, la température de l'atmosphère doit aller en diminuant à mesure qu'on s'élève. M. Gay-Lussac s'y étant élevé à sept mille mètres, la plus grande hauteur que les hommes aient jamais atteinte, y a vu le thermomètre à  $-9^{\circ},5$ , tandis qu'à la surface de la terre il était à  $+30,75$ .

Suivant quelle loi s'opère cette diminution ? Voilà la question que nous avons à résoudre. Avant de passer aux observations qui doivent en donner la solution, j'ai une remarque à faire.

La couche inférieure de l'atmosphère éprouve de jour en jour, d'heure en heure, des variations de température qui ne se transmettent que lentement et faiblement aux couches supérieures. Par exemple, au milieu d'un beau jour d'été, la réverbération des rayons solaires, les émanations des corps échauffés, les gaz et les vapeurs qui se dégagent d'un sol quelquefois brûlant, communiquent bientôt une grande chaleur à la masse d'air qui est en contact avec ce sol ; mais une partie de ces causes calorifiques cesse d'agir à une petite hauteur, et l'autre ne fait ressentir que lentement et peu à peu ses effets aux couches supérieures, de sorte que celles-ci prennent une chaleur moyenne qui varie d'autant moins, dans les diverses heures du jour et même dans les diverses saisons de l'année, qu'elles sont plus élevées. C'est

d'ailleurs un fait d'expérience. Saussure, dans la belle suite d'observations qu'il a faites durant les seize jours qu'il a passés sur le faite des Alpes, campé au col du Géant, à 3430 mètres de hauteur, n'a trouvé la variation diurne que de 5°, tandis que, durant le même temps, elle avait été de 14° à Genève (1). Il n'est pas douteux qu'à la même hauteur, mais en pleine atmosphère, loin de tout corps capable de conserver et de transmettre le calorique, cette variation n'eût été bien moindre; il est même vraisemblable qu'à des hauteurs qu'il est donné à l'homme d'atteindre, et que Saussure estime à douze ou quatorze mille mètres, elle est absolument nulle. Dans nos latitudes moyennes, à la surface de la terre, cette même variation diurne est 40, 50 et même 60°.

La rapidité ou raison de la progression, qui conduit de ce point inférieur si variable au point supérieur toujours constant, ne peut être aussi que très-variable, même en supposant l'atmosphère dans un état de repos et par suite d'équilibre qu'elle ne présente presque jamais.

Dans l'état d'équilibre de ses diverses couches, la nature même de la progression est loin d'être déterminée. Euler admettait une progression géométrique; Oriani et puis Lindénau ont adopté la progression harmonique, participant des deux progressions ordinaires (géométrique et arithmétique), et ils ont admis une plus grande rapidité de décroissement de la chaleur dans les régions inférieures; Laplace paraissait pencher vers cette opinion, et croire que la température, comme la densité des couches de l'atmosphère, devait tenir le milieu entre les deux progressions; cependant il a fini par se décider pour la progression arithmétique. Nous en agissons de même; et nous admettrons en conséquence que, lorsque la portion de l'atmosphère dans laquelle on s'élève est en équilibre, à chaque degré d'abaissement dans le thermomètre répond une égale élévation.

Naturellement, et d'après ce qui a été dit, cette élévation correspondante à un degré doit varier, et dans les diverses

---

(1) *Voyages aux Alpes*, §. 2651.

heures du jour et dans les divers mois de l'année : elle doit être plus forte lorsqu'à la surface de la terre la température est au-dessous du terme moyen, et plus faible lorsque la température est au-dessus.

Je ne saurais mieux faire ressortir l'effet de la température dans les différentes saisons ou dans les différents mois de l'année, qu'en donnant ici l'élévation, correspondante à un degré de température, conclue des observations thermométriques faites à l'observatoire de Genève et à l'hospice du Grand-Saint-Bernard, durant les années 1818, 1819, 1820 et 1821 (1). On verra l'effet des heures dans les résultats donnés par les observations de Saussure au col du Géant, lequel est à 2990 mètres au-dessus de Genève, où les observations correspondantes ont été également faites.

## COL DU GÉANT.

| Heure.             | Élévation. |
|--------------------|------------|
| Minuit . . . . .   | 171 mètr.  |
| 2 heures . . . . . | 189        |
| 4 . . . . .        | 210        |
| 6 . . . . .        | 195        |
| 8 . . . . .        | 180        |
| 9 . . . . .        | 160        |
| Midi . . . . .     | 148        |
| 2 heures . . . . . | 140        |
| 4 . . . . .        | 142        |
| 6 . . . . .        | 141        |
| 8 . . . . .        | 143        |
| 10 . . . . .       | 157        |
| Moyenne . . . . .  | 158        |

## SAINT-BERNARD.

| Mois de l'année.    | Élévation. |
|---------------------|------------|
| Janvier . . . . .   | 225 mètr.  |
| Février . . . . .   | 201        |
| Mars . . . . .      | 188        |
| Avril . . . . .     | 171        |
| Mai . . . . .       | 178        |
| Juin . . . . .      | 171        |
| Juillet . . . . .   | 155        |
| Août . . . . .      | 154        |
| Septembre . . . . . | 160        |
| Octobre . . . . .   | 159        |
| Novembre . . . . .  | 200        |
| Décembre . . . . .  | 224        |
| Moyenne . . . . .   | 182        |

(1) On a pris les observations faites, à deux heures après midi chaque jour d'un mois, pour avoir la moyenne de ce mois, et puis la moyenne entre les quatre moyennes du mois de même nom, pour avoir celle qui est portée au tableau : la hauteur du Saint-Bernard sur Genève est de 2105 mètres.

# 464 TEMPERATURE DU GLOBE TERRESTRE.

Saussure concluait de ses observations, tant sur le col du Géant, que sur un grand nombre d'autres montagnes, qu'en été, dans nos latitudes, la température de l'air, depuis le niveau de la mer jusqu'à la cime de nos plus hautes montagnes décroît d'un degré du thermomètre de Réaumur par cent toises d'élévation; c'est 156 mètres par degré du thermomètre centigrade. Pour l'hiver il admettait 230 mètres.

Quoique ces déterminations coïncident avec les résultats des observations faites au Saint-Bernard, je n'en remarquerai pas moins que ces résultats, et par suite le résultat moyen de 182 mètres, sont un peu trop forts; le thermomètre au Saint-Bernard, étant placé près d'une habitation presque toujours plus chaude que l'air ambiant, a généralement dû indiquer de moindres degrés de froid que s'il eût été en pleine atmosphère; et par suite, le décroissement conclu n'est pas assez rapide, ou, ce qui est la même chose, les élévations portées au tableau ci-dessus sont un peu trop fortes.

Des observations que j'ai faites moi-même, à ce même lieu, le Saint-Bernard, et surtout celles que j'ai effectuées au Mont-Grégorio, avec un soin tout particulier et dans le mois d'Octobre, époque de l'année moyenne en température, m'ont indiqué un décroissement plus rapide, ainsi qu'on peut le voir dans le tableau suivant.

| DÉSIGNATION<br>DES STATIONS.            | DIFFÉRENCE<br>DE NIVEAU. | NOMBRE<br>D'OBSERVAT. | HEURE<br>DE L'OBSERVAT. | HAUTEUR<br>PAR DEGRÉ. |
|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|                                         | mét.                     |                       | h.                      | mét.                  |
| Saint-Bernard et Paris . . . . .        | 2430                     | 50                    | 12                      | 162                   |
| Saint-Bernard et Turin . . . . .        | 2217                     | 52                    | 12                      | 143                   |
| Idem . . . . .                          | 2217                     | 24                    | 12                      | 138                   |
| Idem . . . . .                          | 2217                     | 24                    | 8                       | 167                   |
| Saint-Bernard et Aoste . . . . .        | 1904                     | 45                    | 12                      | 140                   |
| Idem . . . . .                          | 1904                     | 37                    | 8                       | 143                   |
| Pied et cime du Mont-Grégorio . . . . . | 1708                     | 10                    | 12                      | 152                   |
| Moyenne . . . . .                       |                          |                       |                         | 149                   |



M. de Humboldt, qui a traité la question du décroissement de la chaleur à mesure qu'on s'élève au-dessus du niveau de la mer dans son *Essai sur les réfractions astronomiques* et dans son *Mémoire sur les lignes isothermes*, et qui a fait à ce sujet un grand nombre d'observations en Amérique, a trouvé une très-grande inégalité dans la loi du décroissement à diverses hauteurs; et le terme moyen lui a paru de deux cents mètres par degré du thermomètre centigrade. Mais cette raison de la progression se rapporte plutôt à la température des grandes masses de terre élevées au-dessus du niveau de la mer, qu'à celle de l'atmosphère considérée en elle-même : nous l'avons adoptée pour le premier cas; mais elle est manifestement trop grande pour le second.

Les ascensions aérostatiques, isolant en quelque sorte l'observateur au milieu de l'atmosphère, seraient bien les plus propres à nous faire connaître sa température à diverses hauteurs, si l'on pouvait tenir le ballon stationnaire à chacune de ces hauteurs pendant un certain temps. Mais la rapidité avec laquelle il passe d'une couche à l'autre, et la lenteur avec laquelle le thermomètre prend la température d'un milieu aériforme dans lequel il est plongé, laisseront toujours de l'incertitude dans l'attribution que l'on fera à une couche d'une certaine température; aussi l'illustre et courageux physicien qui s'est élevé à près de sept mille mètres de hauteur, n'a-t-il osé tirer aucune conséquence positive des observations thermométriques qu'il a faites dans cette mémorable ascension. Il remarque seulement :

1.<sup>o</sup> Qu'en comparant la température aux deux extrémités de la colonne d'air parcourue, et en supposant que la chaleur décroît uniformément, l'élévation correspondante à un degré est de . . . . . 173 mètr.

2.<sup>o</sup> Qu'en comparant la température du milieu de la colonne (à 3690 mètres) avec celle de l'extrémité inférieure, on a . . . . . 191 —  
et avec celle de l'extrémité supérieure . . . . . 141 —

Ce qui semblerait indiquer que le décroissement est plus rapide dans les régions supérieures de l'atmosphère. Nous

avons vu qu'Euler, Oriani et Lindenau pensaient qu'il en était tout autrement, et leur opinion me paraissait assez naturelle.

M. Graham s'étant élevé, près de Londres, en Juin 1824, à une hauteur de 3610 mètres, a vu la température diminuer de  $20^{\circ}$  : par degré, c'est une élévation de 180 mètres.

Prenant une moyenne entre ces diverses observations, et me rapprochant de celles que je crois les plus exactes, notamment de celles que j'ai faites au Mont-Grégorio, j'admettrai, pour terme moyen, 160 mètres de hauteur par degré de diminution.

Mais les oscillations seront aussi fréquentes que considérables autour de ce terme.

D'abord les oscillations régulières, celles qui sont uniquement occasionées par les différences de température que nous éprouvons à la surface de la terre, iront à 140 d'une part dans les temps chauds, et jusqu'à 230 et 240 mètres de l'autre dans les froids même ordinaires.

Quant aux oscillations irrégulières, à celles qui proviennent des mouvements qui ont presque toujours lieu dans l'atmosphère, elles n'ont pas de limites; tantôt elles doublent et triplent la diminution moyenne de la température, tantôt elles la réduisent à plus de moitié. Ainsi, mes observations au pied et à la cime du Mont-Grégorio, m'ont donné par degré une élévation de 113 mètres le 8 Octobre, et de 316 mètres le 17 du même mois. Si, dans son ascension du mois de Septembre 1804, M. Gay-Lussac, s'élevant à 6980 mètres, a eu une diminution de  $40^{\circ},25$  ou de  $1^{\circ}$  par 173 mètres, dans le mois d'Août précédent, à une hauteur de 2700 mètres, il n'avait eu qu'une diminution de  $3^{\circ},2$  ou de  $1^{\circ}$  par 844 mètres, terme moyen. Et comment n'en serait-il pas ainsi dans un milieu d'une étendue en quelque sorte sans bornes, et dans un fluide aussi mobile que l'air? Un léger courant, un remous, une déviation de mouvement occasionée par la pente d'une montagne, peuvent porter tout à coup dans les régions supérieures le gaz échauffé des régions inférieures : nous sommes ici dans l'empire des vents, et ils se joueront souvent de nos règles de calcul.

Les nuages peuvent encore devenir une cause de chaleur notable et toute particulière à la partie de l'atmosphère qu'ils occupent ou qu'ils viennent d'occuper : ces amas de vapeurs opaques absorbent les rayons solaires ; l'absorption y produit une chaleur obscure qui se répand tout autour, et qui y subsiste encore quelque temps après leur disparition. J'ai eu occasion de m'en convaincre par moi-même : montant un jour sur une montagne du Piémont, après avoir traversé une épaisse couche de nuages, je me trouvai tout à coup au-dessus d'eux, ébloui par la forte réverbération des rayons d'un soleil très-vif, et qui produisait une chaleur peu inférieure à celle qui régnait dans les plaines situées à 1500 mètres au-dessous (1).

Malgré toutes ces causes perturbatrices de l'équilibre de la chaleur dans l'atmosphère, il n'est pas moins vrai que l'ensemble de nos observations montre que, dans nos climats, à mesure qu'on s'élève, la température décroît à peu près en progression arithmétique, et de un degré du ther-

(1) Je rapporte le phénomène dont je fus alors témoin, et tel que je l'ai exposé ailleurs (*Journal de physique*, tom. 71), après avoir rappelé que le Mont-Grégorio est une des montagnes qui bordent au nord les plaines du Piémont ; que sa cime s'élève à 1708 mètres au-dessus de ces plaines, on à 1950 mètres au-dessus de la mer ; et qu'il est à un myriamètre au nord-ouest de la petite ville d'Ivrée, où je résideois.

« Le six Octobre je me mis en route, per un temps court,  
 « pour aller au sommet de cette montagne. A douze cents mètres  
 « au-dessus de la plaine j'entrai dans les nuages ; et trois cents  
 « mètres plus haut, je me trouvai tout à coup au-dessus d'eux, au  
 « milieu d'un air entièrement serein. Je m'arrêtai un instant pour  
 « jouir du plus beau spectacle que m'eût encore présenté le séjour  
 « des montagnes. J'avais à mes pieds une immense nappe de nuées  
 « sur laquelle le soleil dardait tous ses rayons ; une légère nuance  
 « d'un gris extrêmement tendre modérait le vivacité d'une blan-  
 « cheur d'ailleurs éblouissante. Sa surface présentait l'image de la  
 « mer la plus paisible : vers l'issue de la vallée d'Aoste seulement  
 « elle étoit légèrement moutonnée ; et en promenant les regards  
 « de ce côté, on voyoit comme d'immenses balles de coton entas-  
 « sées les unes sur les autres : l'imagination peut à peine se faire

momètre centigrade par 160 mètres d'élévation, terme moyen.

*Limites des neiges.* Il suit de ce que nous venons de dire, que, si on s'élève dans l'atmosphère au-dessus d'un lieu d'autant de fois 160 mètres qu'il y a de degrés dans l'expression moyenne de sa température, on atteindra le point où le thermomètre se tient moyennement à zéro, c'est-à-dire le point où la glace et la neige cesseraient de se fondre, si la température n'y variait pas d'une saison à l'autre : tout ce qui s'élèverait au-dessus d'une surface passant par ces divers points, serait continuellement couvert de neige, et cette surface serait la *limite inférieure des neiges perpétuelles*. Sous l'équateur, elle serait à 4500 mètres au-dessus du niveau de la mer; elle passerait, sur le sol de la France, à environ 2000 mètres d'élévation, et elle joindrait la surface du globe au cercle polaire. Mais il paraît que, par l'effet de la différence des saisons, cette limite est de trois ou quatre degrés plus élevée que le zéro moyen, au moins dans nos

« une idée de la douceur des teintes et du moelleux des contours  
 « qu'offrait ce tableau. La couche de neiges semblait couvrir toutes  
 « les plaines du Piémont, et s'étendre jusqu'aux Alpes du Dauphiné  
 « que j'avais en face, et qui, s'élevant encore à une grande hauteur  
 « au-dessus d'elle, bordaient admirablement, par leur aspect sévère  
 « et sombre, un fond dont elles faisaient ressortir toute la délicatesse. De loin à loin, quelques-unes des montagnes submergées  
 « par cet océan de nuages, en portant leurs cimes noires et sourcilleuses au-dessus de la surface nacrée, rappelaient à l'esprit de  
 « tristes écueils, et présentaient un merveilleux contraste.

« Je continuai à monter, toujours en extase devant ce tableau  
 « ravissant : jamais je n'avais vu le ciel plus pur et d'un bleu plus  
 « intense; le moindre atôme de vapeur n'en altérerait la beauté.  
 « Je parvins au sommet, vers le milieu du jour : jusqu'alors le  
 « temps avait été parfaitement calme; mais, en ce moment, il  
 « s'éleva une légère brise; cette mer si tranquille se mit en mouvements de toutes parts; la nappe se déchira, ses lambeaux errèrent quelques instans au milieu des airs; je les vis s'y fondre  
 « peu à peu, disparaître successivement; et à une heure toute l'atmosphère jouissait déjà de la sérénité que j'avais admirée dans sa  
 « haute région. »

latitudes. De plus, la différence entre les températures de deux points de diverse latitude, diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère; ainsi, entre Paris et la contrée sur laquelle est le Chimborazo, on a au niveau de la mer environ dix-sept degrés de différence en température, et cette différence est à peu près nulle à 5880 mètres de hauteur: à une telle élévation, M. de Humboldt a trouvé la température de  $-1^{\circ},5$  sur cette montagne, et M. de Gay-Lussac l'a eue de  $-1^{\circ},6$  au-dessus de Paris: par suite, le décroissement de la chaleur doit être plus rapide sous l'équateur et plus lent vers le pôle, et, en conséquence, la limite des neiges doit baisser vers l'équateur et s'élever vers les pôles indépendamment de l'effet de la latitude: il en est réellement ainsi.

Dans la première édition de ce traité, où je représentais la température d'un point de la surface par l'expression  $27^{\circ} \cos.^2 L$ ,  $L$  étant la latitude de ce point, j'avais assez exactement la limite des neiges, en supposant qu'elle était à 500 mètres au-dessus du zéro moyen. L'expression de sa hauteur était alors  $160 \times 27 \cos.^2 L + 500$ . Le tableau suivant présente les résultats de cette formule, ainsi que ceux de l'observation:

| OBSERVATEUR.       | LIEU<br>DE L'OBSERVATION. | HAUTEUR DE LA LIMITE |           |
|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
|                    |                           | OBSERVÉE.            | CALCULÉE. |
|                    |                           | mèt.                 | mèt.      |
| Humboldt . . . .   | Équateur. . . . .         | 4800                 | 4820      |
| Bouguer . . . . .  | Tropique. . . . .         | 4100                 | 4133      |
| Webb . . . . .     | Inde. . . . .             | 3520                 | 3727      |
| Parrot . . . . .   | Pyrénées. . . . .         | 2700                 | 2830      |
| Saussure . . . . . | Alpes . . . . .           | 2700                 | 2585      |
| De Buch . . . . .  | Cercle polaire . . .      | 1169                 | 1160      |
| De Buch . . . . .  | 70° latitude. . . . .     | 1060                 | 1005      |

Au reste, je dois remarquer que la latitude ne saurait être le seul élément de la hauteur de la limite des neiges; les circonstances locales y ont la plus grande influence. Ainsi il se-

rait possible que les grands glaciers, qui couvrent les terrains élevés des régions équatoriales, y refroidissent le sol et l'air ambiant au point de donner lieu à un abaissement particulier dans la limite des neiges permanentes. L'exposition du sol doit surtout influencer sur la hauteur de cette limite. M. Parrot, qui l'a trouvée de 2550 mètres sur le versant septentrional des Pyrénées, l'a vue de 2600 à 3000 sur le versant méridional, entre le 42.<sup>e</sup> et le 43.<sup>e</sup> degré de latitude. Saussure, d'après l'ensemble de ses observations, a cru pouvoir la fixer à 2700 mètres, dans les Alpes, entre le 46.<sup>e</sup> et le 47.<sup>e</sup> degré de latitude; et cependant à 2°  $\frac{1}{2}$  plus au sud, sur le revers méridional de ces montagnes, je crois qu'elle est de 300 mètres au moins plus élevée; car il est bien positif que, sur les faîtes et les plateaux de ce revers, à 3000 mètres de hauteur, il n'y a point de neiges perpétuelles, abstraction faite de quelques bras de glaciers qui, encaissés et abrités dans des vallées profondes, y descendent à des niveaux souvent très-bas, à 1440 mètres, par exemple, comme près le village d'Entrèves, dans la vallée d'Aoste, ainsi que je l'ai remarqué dans mon mémoire sur la constitution physique de cette vallée remarquable (1).

## NOTE XII.

### *De la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre.*

La hauteur des montagnes et l'élévation respective des diverses parties d'un terrain, sont, pour le géologiste qui les parcourt et qui les étudie, un objet du plus grand intérêt, et la détermination de ces élévations est une de ses plus importantes, je dirai même une de ses plus satisfaisantes occupations. C'est à l'aide du baromètre qu'il l'opère, et cet instrument est devenu en quelque sorte un compagnon habituel de ses voyages. En conséquence, je crois pouvoir exposer, dans

---

(1) *Journal des mines*, tom. 29, p. 254.

ce traité de géognosie, ce mode de mesurer les hauteurs. Je vais le faire de manière à en donner une pleine intelligence, tout en cherchant à le mettre à la portée du plus grand nombre possible de lecteurs, et tout en évitant des détails, pour lesquels je renvoie à un mémoire que j'ai publié dans les tomes 70 et 71 du *Journal de physique*.

Si l'on plonge, dans une cuvette pleine de mercure, l'extrémité inférieure d'un tube vide d'air et fermé par le haut, la pression que l'atmosphère exerce par suite de son poids sur la surface du métal, le force à refluer dans le tube, et à s'y élever jusqu'à ce que le poids de la colonne mercurielle contre-balance cette pression, et qu'il lui soit par conséquent égal. En d'autres termes, le mercure monte jusqu'à ce que le poids de sa colonne soit égal à celui d'une des colonnes de l'atmosphère qui reposent sur la cuvette, et qui aurait un même diamètre : telle est la théorie du tube de Torricelli ou *baromètre*. Si on élève cet instrument au-dessus de la surface de la terre, les colonnes de l'atmosphère qui pèsent sur lui, devenant plus courtes, le mercure sera moins chargé, en conséquence il baissera dans le tube ; et cet abaissement, se trouvant en rapport avec l'élévation, pourra nous la faire connaître : il suffira de trouver des règles ou formules qui donnent les élévations correspondantes à des longueurs de colonnes barométriques connues.

Je vais établir ces règles de la manière la plus élémentaire possible ; ce sont elles qui constituent la *méthode barométrique* de mesurer les hauteurs (1), et je donnerai ensuite le moyen d'en faire usage aux personnes les moins versées dans l'art du calcul ; j'examinerai, dans une seconde partie, les erreurs que

---

(1) La démonstration que je vais donner n'exige d'autres connaissances en mathématiques, que celle des éléments d'arithmétique, tels qu'ils sont exposés dans des cours placés entre les mains des commençants, dans celui de Bézout, par exemple, et ces premières notions d'algèbre que l'on peut acquérir en une ou deux heures de temps. À la fin de cette note, je donnerai une solution analytique et complète du problème.

L'une et l'autre de ces méthodes me sont entièrement propres.

l'on peut commettre en l'appliquant à la pratique, et je terminerai par quelques courtes réflexions sur la manière d'observer les instruments.

## PREMIÈRE PARTIE.

### *De la méthode barométrique.*

Établissement de la formule fondamentale.

On prend deux points ou stations à la surface du globe, on y observe le baromètre et le thermomètre; et de ces observations il faut conclure la hauteur ou différence du niveau entre les deux stations.

Pour résoudre le problème, supposons d'abord que l'air atmosphérique soit à zéro de température thermométrique, qu'il soit entièrement sec, et que la gravité soit une force constante.

Cela posé, divisons par la pensée l'atmosphère en couches horizontales fort minces (d'un centimètre, par exemple), mais d'égale épaisseur. Cette épaisseur étant prise pour unité, l'élévation des diverses couches au-dessus de la mer sera représentée par la suite naturelle des nombres 0, 1, 2, 3, 4, . . . . centimètres; ainsi *cette élévation croîtra en progression arithmétique*. Donc, si on représente les élévations successives par  $a, a', a'',$  etc., on aura

$$\div 0. a. a'. a''. a'''. a'''' . . . . .$$

D'un autre côté, l'atmosphère étant supposée en équilibre dans la région comprise entre les deux stations, toutes les parties de la même couche éprouveront une égale pression, et en s'élevant d'une couche à l'autre, cette pression, ou le poids qui la produit, décroîtra en progression géométrique (1). Or, d'après ce que nous avons dit en commençant,

---

(1) Soit, pour le démontrer,  $P$  le poids d'une colonne de l'atmosphère divisée en tranches fort minces, mais d'égale épaisseur;  $p, p', p''$ , le poids de la même colonne, dont on aurait retranché successivement la première, les deux premières, les trois premières tranches, à partir du bas;  $q, q', q''$  les densités de la première,



ce poids compriment sera égal, dans chaque couche, au poids de la colonne d'un baromètre dont la cuvette serait dans cette couche: de plus, à égalité de pesanteur spécifique dans le mercure, c'est-à-dire à égalité de température et de force de pesanteur, les poids des colonnes barométriques sont proportionnels à la longueur de ces colonnes; donc *la longueur de la colonne de mercure dans un baromètre élevé successivement de couche en couche, décroîtra en progression géométrique*. De sorte que si  $B$  représente la longueur de la colonne ou l'indication du baromètre au niveau de la mer, c'est-à-dire au bas de la couche inférieure, et  $b, b', b'',$  etc., les indications successives dans les couches immédiatement supérieures, on aura

$$\therefore B : b : b' : b'' : b''' \dots$$

Rendons cette progression croissante, et faisons-la commencer par 1. Elle devient d'abord

$$\therefore \frac{1}{B} : \frac{1}{b} : \frac{1}{b'} : \frac{1}{b''} : \frac{1}{b'''} \dots$$

et ensuite, en multipliant tous les termes par  $B$ ,

$$\therefore 1 : \frac{B}{b} : \frac{B}{b'} : \frac{B}{b''} : \frac{B}{b'''} \dots$$

de la seconde, de la troisième tranche. Les poids de ces mêmes tranches seront évidemment  $P-p, p-p', p'-p''$ , et les poids qui les comprimeront seront  $p, p', p''$ , etc.

On sait, par les premiers éléments de la physique, 1.<sup>o</sup> que l'air se comprime proportionnellement aux poids dont il est chargé, et par suite que les densités sont proportionnelles aux poids compriments; 2.<sup>o</sup> que l'épaisseur (et par conséquent le volume) des tranches étant la même, leur densité est proportionnelle à leur poids:

D'après le premier principe, on a

$$q : q' :: p : p'$$

D'après le second, on a, de plus,

$$q : q' :: P-p : p-p'$$

Donc, à cause du rapport commun  $q : q'$

$$P-p : p-p' :: p : p' \text{ ou } P : p :: p : p'$$

On trouverait de même

$$p : p' :: p : p''$$

Donc

$$\therefore P : p : p' : p'' : p''' \dots \text{ C. Q. F. D.}$$

Rappelons maintenant que les logarithmes sont des nombres en progression arithmétique qui correspondent, terme pour terme, à une autre suite de nombres en progression géométrique (1); et de plus, que, dans ceux qui donnent le moyen de convertir les multiplications en additions, le premier terme de la progression arithmétique est zéro, et le premier terme de la progression géométrique est 1. Vu nos deux progressions

$$\begin{array}{ccccccc} \div & 0 & . & a & . & a' & . & a'' & . & a''' & \dots \\ \div & 1 & : & \frac{B}{b} & : & \frac{B}{b'} & : & \frac{B}{b''} & : & \frac{B}{b'''} & \dots \end{array}$$

Nous aurons donc

$$a = \log \frac{B}{b}, \quad a' = \log \frac{B}{b'}, \quad a'' = \log \frac{B}{b''} \text{ etc.}$$

Ces logarithmes *barométriques*, qu'on me permette cette expression, ne sont pas, il est vrai, les logarithmes de nos tables ordinaires; mais il est facile de leur substituer ceux-ci, puisque les logarithmes d'un système quelconque peuvent être ramenés à ceux d'un autre système, en les multipliant par un nombre qui reste constant dans tout le système (2). Soit ici  $c$  ce nombre, que nous déterminerons dans peu, et nous aurons, en employant les logarithmes tabulaires,

$$a = c \log \frac{B}{b} = c (\log B - \log b)$$

$$a' = c \log \frac{B}{b'} = c (\log B - \log b')$$

Maintenant, si  $a'$  est la hauteur de la station inférieure au-dessus de la mer, et  $a''$  la hauteur de la station supérieure,

(1) Définition de d'Alembert, dans l'*Encyclopédie*.

(2) Lacroix, *Algèbre*, §. 250. En général, toute progression arithmétique commençant par zéro peut être transformée en une autre progression arithmétique commençant aussi par zéro, en la multipliant par un certain nombre (qui est le rapport entre la raison des deux progressions): or un système de logarithmes n'est qu'une pareille progression.

$b'$  l'indication du baromètre à la première, et  $b^{1000}$  à la station supérieure, la différence de niveau, qui est  $a^{1000} - a'$ , sera égale à

$$c (\log B - \log b^{1000}) - c (\log B - \log b')$$

$$\text{ou } c (\log b' - \log b^{1000}).$$

En général, soit  $H$  la hauteur du baromètre à la station inférieure,  $h$  celle du baromètre à la station supérieure, et  $x$  la différence de niveau entre les deux stations, il est évident que l'on aura

$$x = c (\log H - \log h).$$

La valeur de  $c$  devant rester la même, quelles que soient celles de  $x$ ,  $H$ ,  $h$ , va nous être donnée par un cas particulier, dans lequel les pesanteurs spécifiques du mercure et de l'air nous suffiront pour déterminer ces trois dernières quantités. MM. Biot et Arago ont trouvé qu'à 0° du thermomètre, sous la pression barométrique de 0<sup>m</sup>,76, et à la latitude de 45°, le mercure pesait 10467 fois plus que l'air sec. Supposons, d'après cela, que l'atmosphère soit divisée en tranches de 0<sup>m</sup>,10467 d'épaisseur, et chacune d'une densité uniforme: elles seront assez minces pour que cette dernière supposition ne puisse donner lieu à aucune erreur sensible (1). Transportons-nous en idée dans la région inférieure de l'atmosphère, près le niveau de la mer, à la tranche où un baromètre placé à sa surface supérieure se tiendrait à 0<sup>m</sup>,76. Là, l'air pesant 10467 fois moins que le mercure, si l'on descend le baromètre à la surface inférieure de la tranche, le mercure haussera d'une quantité égale à la 10467.<sup>e</sup> partie de l'épaisseur de cette tranche, puisque la colonne barométrique doit augmenter d'un poids égal à celui de la colonne atmosphérique. Or, la 10467.<sup>e</sup> partie de 0<sup>m</sup>,10467 est 0<sup>m</sup>,00001; donc le

---

(1) Si au lieu de supposer l'épaisseur des tranches de l'atmosphère de 0<sup>m</sup>,10467, on l'eût prise cent et même dix mille fois plus petite, on aurait également eu  $c = 18317$  mètres. Par un long calcul numérique, je me suis assuré que l'épaisseur étant 0<sup>m</sup>,00001, ce qui n'est pas celle de la feuille du papier le plus mince, on aurait eu  $c = 18316^m,88$ . Ainsi on ne saurait, en aucune manière, attaquer la légitimité de notre supposition.

baromètre à cette surface, qui représente la station inférieure, indiquera  $0^m,76001$ , tandis qu'à la surface ou station supérieure il est à  $0^m,76$  : la différence de niveau entre les deux stations, qui est l'épaisseur de la tranche, sera  $0^m,10467$ . Ainsi on aura

$$0,10467 = e (\log 0,76001 - \log 0,76).$$

Les grandes tables de logarithmes donnant  $\log 0,76001 = 0,0000057144$ , on a

$$e = \frac{0,10467}{0,0000057144} = 18317 \text{ mètr.}$$

et pour formule définitive

$$x = 18317 (\log H - \log h).$$

CORRECTIONS.

Corrigeons maintenant, par des additions successives, l'effet des suppositions que nous avons faites, 1.<sup>o</sup> en admettant que l'air était à  $0^o$  de température et qu'il était entièrement sec; 2.<sup>o</sup> que le mercure des deux baromètres possédait un même degré de chaleur; 3.<sup>o</sup> que la gravité avait partout la même intensité qu'au  $45^o$  degré de latitude et au niveau de la mer.

Corr. relat. à la tempér. de l'air.

La chaleur dilate l'air, le rend moins dense et moins pesant. Plus elle sera forte, moins l'air sera pesant, et plus il faudra s'élever dans l'atmosphère pour que le baromètre y baisse d'une même quantité; puisque la différence des deux colonnes barométriques aux deux stations doit être égale en poids à la différence entre les deux colonnes atmosphériques aux mêmes stations; de sorte qu'au même abaissement barométrique répondent des élévations d'autant plus grandes, que la température de l'air est plus considérable.

A partir de zéro du thermomètre centigrade, la chaleur dilate l'air des  $0,00375$  de son volume, par degré de ce thermomètre : en conséquence, une hauteur ou longueur de colonne atmosphérique correspondante à un certain abaissement barométrique ( $H - h$ ), étant déterminée dans la supposition que l'air compris entre les deux stations est à  $0^o$ , ce qui est le cas de notre formule, on aura la hauteur correspondante au

même abaissement, lorsque l'air sera à un degré quelconque  $n$ , en augmentant la première d'autant de fois sa 0,00375.<sup>e</sup> partie qu'il y a d'unités dans  $n$ , c'est-à-dire en la multipliant par le facteur  $1 + 0,00375 n$ .

La quantité  $n$  doit représenter la température générale de la masse d'air comprise entre les deux stations. Pour la déterminer, il faudrait connaître, 1.<sup>o</sup> la température des couches extrêmes de cette masse; 2.<sup>o</sup> la loi suivant laquelle elle décroît de l'une à l'autre. Malheureusement nous ne pouvons avoir que des approximations à cet égard, et ce qu'on peut faire de mieux dans ce cas, dit Laplace, c'est de supposer dans toute la masse une température uniforme et moyenne entre les deux stations. En conséquence, si  $t$  est l'indication du thermomètre à la station inférieure, et  $t'$  à la station supérieure, on aura

$n = \frac{t+t'}{2}$ ; et le facteur de correction sera

$$1 + 0,00375 \frac{t+t'}{2}$$

Nous ferons encore à ce facteur une correction dépendante des vapeurs aqueuses répandues dans l'atmosphère. Ces vapeurs, à force élastique égale, sont plus légères que l'air; ainsi, en se mêlant avec lui, elles en diminuent la densité, et par suite elles nécessitent, dans la valeur de  $x$ , une correction pareille à celle déjà faite pour la température, c'est-à-dire une augmentation proportionnelle à la diminution de densité. Vu la difficulté et presque l'impossibilité de déterminer d'une manière exacte la diminution de densité due à l'effet des vapeurs dans toute la masse d'air comprise entre les deux stations, et en observant que ces vapeurs sont en général d'autant plus abondantes dans notre atmosphère que la température y est plus élevée, Laplace opère la correction qu'elles nécessitent, en augmentant un peu le coefficient de la dilatation de l'air, en le portant de 375 à 400; de sorte que le facteur de correction devient  $1 + 0,004 \frac{t+t'}{2}$  ou

$$1 + 0,002 (t+t').$$

Corr. rel. à l'état hygrométrique de l'air.

Corr. rel. à la différence dans la température des baromètres. En établissant la formule, nous avons supposé que le mercure des deux baromètres était à la même température; mais comme il est rare qu'il en soit ainsi, il faudra ramener les longueurs des deux colonnes barométriques à ce qu'elles seraient, si elles étaient affectées du même degré de chaleur. D'après des expériences de MM. Dulong et Petit, le mercure se dilate de  $\frac{1}{5550}$  ou 0,0001802 par degré du thermomètre; ainsi, en allongeant la colonne la plus froide d'autant de fois sa 5550.<sup>e</sup> partie qu'il y a de degrés de différence entre les températures des deux baromètres, on effectuera la correction convenable; en conséquence, si  $T$  exprime la température du baromètre inférieur, et  $T'$  celle du baromètre supérieur, et c'est ordinairement la plus froide, la hauteur barométrique  $h$ , ramenée à la température de  $H$ , sera

$$h[1 + 0,00018(T - T')]$$

Corr. rel. à la différence d'action de la pesanteur sur les baromètres. Nos deux colonnes barométriques doivent être réduites non-seulement à la même température, mais encore à la même intensité de pesanteur. Cette force décroissant à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, le mercure dans le baromètre supérieur sera spécifiquement moins pesant et par suite moins dense: sa colonne, pour être toujours égale en poids à celle de l'atmosphère qui lui correspond, compensant par une plus grande longueur ce qu'elle a perdu en densité, s'allongera. On la ramènera à ce qu'elle eût été, s'il n'y eût point eu de diminution dans l'action de la gravité, en raccourcissant la longueur observée dans le rapport du carré des distances des deux baromètres au centre de la terre, puisque la pesanteur décroît dans ce rapport. J'ai trouvé, ainsi qu'on le verra dans les considérations théoriques qui terminent ce Mémoire, que cette correction se fait d'une manière exacte et bien plus simple en augmentant, une fois pour toutes, de 48<sup>m</sup> le coefficient 18317, lequel devient ainsi 18365 mètres.

Corr. rel. à la var. de la pes. dans le sens vertical. Le décroissement de la pesanteur, à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, fait encore que la masse d'air comprise entre les deux stations, est moins pesante et par suite moins dense qu'elle ne le serait si la gravité conservait, à toutes les hauteurs que nous pouvons atteindre, la même intensité qu'au

niveau de la mer. Or, c'est cette dernière intensité que nous avons admise dans la formule, en prenant la pesanteur de l'air dans un lieu où le baromètre était à 0<sup>m</sup>,76, ce qui est l'indication moyenne de cet instrument dans la partie inférieure de l'atmosphère. En conséquence il faudra encore augmenter la valeur de  $x$  proportionnellement à la diminution de densité dans la masse d'air comprise entre les deux stations, ou proportionnellement à la diminution que la gravité aura éprouvée depuis le niveau de la mer jusqu'au milieu de cette masse, c'est-à-dire dans le rapport du carré de la distance de ces deux points au centre de la terre (1).

Cette augmentation peut encore se faire, comme on le verra dans la solution analytique, en augmentant le coefficient 18365 de la six-millième partie de l'élévation de la station inférieure sur la mer, plus la trois-millième partie de la différence de niveau entre les deux stations (différence estimée d'une manière approximative); ou bien, avec une exactitude suffisante, en l'augmentant, une fois pour toutes, d'une dizaine de mètres.

Le coefficient a été déterminé pour la latitude de 45°. A partir de ce point, la gravité augmente en allant vers le pôle, et diminue en allant vers l'équateur. Par l'effet de cette variation, l'air de l'atmosphère est plus dense dans le premier cas, et il l'est moins dans le second : en conséquence la valeur de  $x$  (qui est proportionnelle au coefficient), devra être diminuée ou augmentée dans un rapport inverse. Or, la diminution ou augmentation de la gravité, d'après les observations des physiciens et des astronomes, à compter du 45.<sup>e</sup> degré, est exprimée par 0,00284 cos. 2  $l$ ,  $l$  représentant la latitude. Nous ferons donc la correction désirée en multipliant la valeur de  $x$  par

Corr. rel.  
la var. de la  
pesanteur en  
latitude.

$$1 + 0,00284 \cos. 2 l.$$

(1)  $a$  étant la hauteur de la station inférieure au-dessus de la mer, et  $r$  le rayon du globe terrestre, ce rapport sera

$$\frac{(r + a + \frac{x}{2})^2}{r^2}, \text{ qui se réduit à } 1 + \frac{2a + x}{r}$$

Dans les zones tempérées, elle peut être faite en prenant la dix-millième partie de la hauteur trouvée, la multipliant par la différence entre la latitude des stations et  $45^\circ$ , et ajoutant le produit à la hauteur trouvée, ou l'en retranchant, selon que la latitude est au-dessous ou au-dessus de  $45^\circ$ .

En comprenant dans la formule toutes les corrections que nous venons d'indiquer, la hauteur  $x$  se déterminera à l'aide des deux équations suivantes :

$$x = x' \left( 1 + \frac{2a + x'}{r} \right), \text{ et}$$

$$x' = 18365 [1 + 0,002 (t + t')] (1 + 0,00284 \cos. 2l)$$

$$\left[ \log H - \log h \left( 1 + 0,00018 (T - T') \right) \right]$$

ou simplement, et en faisant une fois pour toutes la correction relative à la latitude, par la seule équation

$$x = 18375 [1 + 0,002 (t + t')]$$

$$\left[ \log H - \log h \left( 1 + 0,00018 (T - T') \right) \right].$$

Essai de la  
formule sur  
une hauteur  
connue.

Avant d'appliquer à la pratique des formules uniquement déduites de considérations théoriques, faisons-en l'essai sur une hauteur déjà mesurée par d'autres moyens. Nous le ferons sur une montagne parfaitement convenable à un pareil objet : c'est le *Mont-Grégorio*, à deux lieues au nord-ouest de la petite ville d'Ivrée. Il fait partie de la chaîne des Alpes qui borde les plaines du Piémont au nord : son pied les touche immédiatement, et sa cime, isolée en pleine atmosphère, est à deux mille mètres environ au-dessus du niveau de la mer.

De concert avec M. Mallet, ingénieur en chef des ponts et chaussées, j'ai établi, dans une grande prairie, au pied de cette montagne, et à six mille mètres de son sommet, une base qui a été mesurée avec des règles faites exprès : elle avait  $670^m,299$ . Les angles ont été pris et répétés dix fois avec un cercle répétiteur : et l'effet de la réfraction a été corrigé par une des formules de la *Mécanique céleste* qui était applicable à ce cas. Le résultat de cette opération trigonométrique nous a donné  $1708^m,43$  pour la hauteur de la montagne, au-dessus



de la prairie. Dix fois, dans le mois d'Octobre 1809, nous nous sommes rendus, l'un à la cime, l'autre au pied du mont, avec des instruments qui venaient d'être faits par le meilleur artiste (Fortin) de Paris en ce genre : chacun des dix jours, nous avons pris note de l'indication de ces instruments à 11, 11  $\frac{1}{2}$ , 12, 12  $\frac{1}{2}$ , et 1 heure (1).

Je vais donner ici l'observation qui a été faite dans les circonstances les plus favorables, et qui représente à peu près la moyenne entre toutes celles qui ont eu lieu à la même heure.

Le 17 Octobre, à midi, on a eu,

$$H = 0,7422 \text{ mètres.}$$

$$h = 0,60505$$

$$T = 19^{\circ},85, \text{ qui se réduisent à } 17,87 \text{ (2).}$$

$$T' = 10,5 \dots \dots \dots 9,50$$

$$t = 19,95$$

$$t' = 9,9$$

On a de plus  $l = 45^{\circ} 32'$  et  $a = 250$  mètres.

D'après ces données, on obtient par les formules ci-dessus

$$x' = 1713,98 \text{ et } x = 1714,55 \text{ mètres.}$$

(1) Voyez, dans le *Journal de physique*, tom. 70, p. 451 et suivantes, les détails de cette opération, peut-être la plus exacte qui ait encore été faite pour comparer les mesures trigonométriques et barométriques.

(2) On a diminué d'un dixième ces indications thermométriques, pour corriger les effets de la dilatation de l'échelle du baromètre. Cette échelle était en laiton, et le laiton se dilate à peu près dix fois moins que le mercure à température égale.

En général, pour tout baromètre portant une échelle susceptible de s'allonger par la chaleur, il faut opérer une correction analogue. Elle se fera en diminuant  $T$  et  $T'$ , ou le coefficient de la dilatation du mercure (0,000180), dans le rapport des dilatations de ce métal et de l'échelle; ou, d'une manière plus simple encore, en adaptant, au thermomètre fixé au baromètre, une échelle dont les degrés ne seront plus ceux du thermomètre ordinaire, mais ces degrés diminués en nombre dans le rapport susmentionné. Par exemple, si l'échelle est en laiton, on ne mettra plus que  $90^{\circ}$  de glace à l'eau bouillante; si elle était en verre, cette substance se dilatant de 0,000087 par degré, tandis que le mercure se dilate de 0,00018, on mettrait  $95^{\circ},2$ , puisque  $100 (1 - \frac{0,000087}{0,00018}) = 95,2$ .

Résultat plus grand de 6,12 mètres que celui de la mesure trigonométrique. Cette différence n'est pas les 0,0036 de la hauteur mesurée, et elle pourrait être négligée dans une mesure ordinaire, comme rentrant dans la limite des erreurs de l'observation; mais il s'agit ici en quelque sorte d'une valeur moyenne conclue d'observations faites avec soin, et elle indique positivement que le coefficient qui l'a donnée pèche par excès. Mais, ainsi que nous le verrons bientôt, ce n'est guère que pour l'heure de midi, à laquelle ont été faites les observations au Mont-Grégorio, qu'il est un peu trop grand : celui qui conviendrait aux heures du jour prises en général, ne différerait pas sensiblement de celui que nous avons admis, et nous pouvons conclure de notre comparaison entre les deux modes de mesurer les hauteurs, que la formule que nous avons établie donne des résultats aussi exacts qu'on peut l'espérer de la méthode barométrique.

### *Tables pour le calcul des hauteurs.*

Mais l'usage de cette formule exige l'emploi du calcul par logarithmes, et la plupart des naturalistes, des géographes et voyageurs intéressés aux nivellements barométriques, ont perdu l'usage de ce mode particulier de calcul. Je leur donne ici une petite table, à l'aide de laquelle, par une très-simple application des trois premières règles de l'arithmétique, on calcule les hauteurs d'une manière tout aussi exacte, et avec bien plus de facilité que par le calcul logarithmique; j'expose la manière de s'en servir.

Les indications barométriques à chacune des deux stations seront exprimées en centimètres, millimètres et dixièmes de millimètre, ou elles y seront réduites; et les thermomètres, tant ceux qui donnent la température du baromètre, que ceux qui indiquent celle de l'air, seront centigrades.

Prenez, dans la partie n.<sup>o</sup> 1 de la table, la hauteur correspondante au nombre de centimètres et millimètres de l'indication du baromètre inférieur; retranchez-en la hauteur correspondante au nombre de dixièmes de millimètre de la même indication,

| INDICATION<br>DU BAROMÈTRE. | HAUTEURS CORRESPONDANTES POUR LES DIX-MILL. DU BAROM. |         |         |                                      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                             | N.° 1.                                                |         |         | DIXIÈMES DE MILLIMÈTRE DU BAROMÈTRE. |      |      |      |      |      |      |
|                             | 9.                                                    | 8.      | 7.      | 3.                                   | 4.   | 5.   | 6.   | 7.   | 8.   | 9.   |
|                             | cent.<br>mètres.                                      | mètres. | mètres. | mèt.                                 | mèt. | mèt. | mèt. | mèt. | mèt. | mèt. |
| 77                          | 0,0                                                   | 10,2    | 20,5    | 3,1                                  | 4,1  | 5,1  | 6,2  | 7,2  | 8,2  | 9,3  |
| 76                          | 103,0                                                 | 113,4   | 123,8   | 3,1                                  | 4,2  | 5,2  | 6,2  | 7,3  | 8,3  | 9,4  |
| 75                          | 207,5                                                 | 218,0   | 228,5   | 3,2                                  | 4,2  | 5,3  | 6,4  | 7,4  | 8,5  | 9,5  |
| 74                          | 313,3                                                 | 324,0   | 334,7   | 3,2                                  | 4,3  | 5,4  | 6,4  | 7,5  | 8,6  | 9,6  |
| 73                          | 420,4                                                 | 431,1   | 441,8   | 3,3                                  | 4,4  | 5,5  | 6,5  | 7,6  | 8,7  | 9,8  |
| 72                          | 529,2                                                 | 540,2   | 551,1   | 3,3                                  | 4,4  | 5,5  | 6,6  | 7,7  | 8,8  | 9,9  |
| 71                          | 639,4                                                 | 650,6   | 661,7   | 3,3                                  | 4,4  | 5,6  | 6,7  | 7,8  | 8,9  | 10,0 |
| 70                          | 751,1                                                 | 762,4   | 773,7   | 3,4                                  | 4,5  | 5,6  | 6,8  | 7,9  | 9,0  | 10,2 |
| 69                          | 864,4                                                 | 875,8   | 887,3   | 3,4                                  | 4,6  | 5,7  | 6,9  | 8,0  | 9,2  | 10,4 |
| 68                          | 979,4                                                 | 991,0   | 1002,6  | 3,5                                  | 4,6  | 5,8  | 7,0  | 8,1  | 9,3  | 10,5 |
| 67                          | 1096,0                                                | 1107,8  | 1119,5  | 3,5                                  | 4,7  | 5,9  | 7,1  | 8,3  | 9,4  | 10,6 |
| 66                          | 1214,4                                                | 1226,5  | 1238,2  | 3,6                                  | 4,8  | 6,0  | 7,2  | 8,4  | 9,6  | 10,8 |
| 65                          | 1334,7                                                | 1346,8  | 1358,9  | 3,7                                  | 4,9  | 6,1  | 7,3  | 8,5  | 9,8  | 11,0 |
| 64                          | 1456,7                                                | 1469,0  | 1481,3  | 3,7                                  | 5,0  | 6,2  | 7,4  | 8,7  | 9,9  | 11,2 |
| 63                          | 1580,5                                                | 1593,0  | 1605,5  | 3,8                                  | 5,0  | 6,3  | 7,6  | 8,8  | 10,1 | 11,3 |
| 62                          | 1706,4                                                | 1719,1  | 1732,8  | 3,8                                  | 5,1  | 6,4  | 7,7  | 9,0  | 10,2 | 11,5 |
| 61                          | 1834,3                                                | 1847,1  | 1860,0  | 3,9                                  | 5,2  | 6,5  | 7,8  | 9,1  | 10,4 | 11,7 |
| 60                          | 1964,3                                                | 1977,4  | 1990,5  | 4,0                                  | 5,3  | 6,6  | 7,9  | 9,2  | 10,6 | 11,9 |
| 59                          | 2096,4                                                | 2109,7  | 2123,0  | 4,0                                  | 5,4  | 6,7  | 8,0  | 9,4  | 10,7 | 12,1 |
| 58                          | 2230,8                                                | 2244,3  | 2257,9  | 4,1                                  | 5,4  | 6,8  | 8,2  | 9,5  | 10,9 | 12,2 |
| 57                          | 2367,4                                                | 2381,2  | 2395,0  | 4,2                                  | 5,5  | 7,0  | 8,3  | 9,7  | 11,1 | 12,5 |
| 56                          | 2506,5                                                | 2520,5  | 2533,5  | 4,2                                  | 5,6  | 7,1  | 8,5  | 9,9  | 11,3 | 12,7 |
| 55                          | 2648,0                                                | 2662,3  | 2676,6  | 4,3                                  | 5,8  | 7,2  | 8,6  | 10,1 | 11,5 | 13,0 |
| 54                          | 2792,0                                                | 2806,7  | 2821,3  | 4,4                                  | 5,9  | 7,4  | 8,8  | 10,3 | 11,8 | 13,2 |
| 53                          | 2939,0                                                | 2953,8  | 2968,6  | 4,5                                  | 6,0  | 7,5  | 9,0  | 10,5 | 12,0 | 13,5 |



telle que cette hauteur est donnée dans la partie n.° 2, sur la même ligne horizontale que la hauteur prise dans la partie n.° 1 : faites-en de même pour l'indication du baromètre supérieur; soustrayez ensuite le premier reste du second : le résultat serait la hauteur demandée, si la température était partout à zéro du thermomètre. On opérera les corrections nécessitées par la température réelle, à l'aide des règles suivantes :

1.° Pour le mercure des baromètres. *Retranchez, l'une de l'autre, les deux indications des thermomètres fixés aux baromètres; augmentez le reste de sa moitié, et soustrayez ce nombre de la hauteur déjà trouvée (1) : si l'indication du thermomètre à la station supérieure était plus grande que l'autre, on ajouterait le nombre au lieu de le retrancher.*

2.° Pour l'air atmosphérique. *Ajoutez, l'une à l'autre, les deux indications des thermomètres libres; doublez la somme; multipliez ce double par la millième partie du résultat précédemment obtenu; ajoutez le produit à ce résultat, et vous aurez, en mètres, la hauteur cherchée: les deux indications seraient retranchées l'une de l'autre, au lieu d'être ajoutées, si une d'elles était au-dessous de zéro.*

La correction due à la diminution de la pesanteur dans le sens vertical est comprise dans la table. Quant à celle pour la variation de cette même force en latitude, elle s'effectuera ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Au reste, il est superflu de la faire dans toute l'étendue de la France.

Je donne un exemple :

Ce sera celui du Mont-Grégorio, à l'aide des observations

(1) Cette règle, que nous avons déjà donnée en 1810, suppose que la dilatation du mercure est de 0,000188 par degré : c'est le nombre que nous avons cru devoir admettre comme tenant le milieu entre ceux adoptés par divers physiciens : Laplace donnait 185, et Roy 192.

Si on adoptait celui qui a été déterminé, en dernier lieu, avec un soin particulier, par M. Dulong, il faudrait multiplier la différence entre les indications des thermomètres fixes par 1,44 au lieu de 1,5. La hauteur du Mont-Grégorio, qui a été trouvée de 1714,6 mètres par la nouvelle règle, aurait été de 1714,0 d'après l'ancienne.

déjà citées. Les deux indications barométriques font 742,2 et 605,05 millimètres, celles des thermomètres fixes sont 17°,87 et 9°,50, et celles des thermomètres libres, 19°,95 et 9°,9.

La partie n.° 1 de la table donne 388,2 mètres pour la hauteur correspondante à 74 centimètres et 2 millimètres : la partie n.° 2 donne 2,2 mètres pour 2 dix-millimètres ; je retranche ces deux nombres et j'ai 386,0 mètres. De même, je prends la hauteur 2016,7 mètres, correspondante à 60 centimètres 5 millimètres, et j'en soustrais la hauteur 0,6 mètres, correspondante à 0,05 millimètres, et j'obtiens 2016,1 mètres. Ces deux résultats (2016,1 et 386,0), soustraits l'un de l'autre, donnent 1630,1 mètres.

Retranchant l'une de l'autre les deux indications des thermomètres fixes (17°,87 et 9°,5), on a 8,37 ; augmentant ce reste de sa moitié, il devient 12,6 ; je le soustrais de 1830,1, et j'obtiens 1617,5 mètres.

J'ajoute les deux indications des thermomètres libres (19°,95 et 9°,9 ; je double la somme, et j'ai 59,7 : je prends la millièmiè partie de 1617,5 ; elle est de 1,6175, ou simplement 1,62 ; je la multiplie par 59,7 ; j'ajoute le produit (96,6) à 1617,5, et j'ai 1714,1 mètres.

La latitude du Mont-Grégorio n'excédant que d'un demi-degré 45°, la correction due à la latitude se bornera à retrancher de 1714,1 mètres la petite quantité 0,1 mètre, qui est la moitié de sa dix-millièmiè partie ; de sorte que la hauteur finale sera 1714,0 mètres.

La formule calculée par logarithmes, avec toute l'exactitude possible, aurait également donné 1714,0 mètres, en employant le même coefficient (1,5) pour la dilatation du mercure.

J'ai publié, en 1810, une autre petite table, qui a été imprimée dans les journaux de cette année, et qui est remarquable par son extrême simplicité, ainsi que par l'avantage qu'elle a de pouvoir être collée sur le baromètre même qui sert aux observations, et de dispenser ainsi de tout transport de tables. Elle donne les hauteurs à un mètre près, et c'est tout ce qu'on peut désirer pour l'exactitude ; je la joins ici en exposant la manière d'en faire usage.

Les indications barométriques étant exprimées en centimètres et fractions de centimètres, prenez dans la colonne des hauteurs le nombre qui est vis-à-vis l'indication du baromètre inférieur, abstraction faite de la fraction : multipliez, par cette fraction, le nombre correspondant de la colonne des différences ; et soustrayez le produit du premier nombre. Faites-en de même pour l'indication du baromètre supérieur ; et retranchez ensuite, l'une de l'autre, les deux hauteurs ainsi diminuées.

On fera les corrections pour les températures du mercure et de l'air, comme ci-dessus.

Si l'on voulait calculer la hauteur du Mont-Grégorio par cette table, les deux indications barométriques étant 74,22 et 60,505 centimètres, on prendrait, dans la colonne des hauteurs, le nombre 317 placé vis-à-vis 74 centimètres indiqués par le baromètre inférieur ; on multiplierait la fraction 0,22 de l'indication par la différence correspondante 107, et le produit 24, retranché de 317, donnerait 293 : de même, pour l'indication (60,505) du baromètre supérieur, on prendrait la hauteur 1990 mètres notée vis-à-vis 60, on en retrancherait le produit (67) de 132 différence correspondante par 0,505, et l'on aurait 1923 : les deux hauteurs ainsi diminuées (1923 et 293), soustraites l'une de l'autre, donneraient 1630 mètres ; résultat égal à celui donné par l'autre table.

| BAR.  | HAUT.   | DIFF.   |
|-------|---------|---------|
| cent. | mètres. | mètres. |
| 77    | 0       | 103     |
| 76    | 104     | 104     |
| 75    | 210     | 106     |
| 74    | 317     | 107     |
| 73    | 425     | 108     |
| 72    | 535     | 110     |
| 71    | 647     | 112     |
| 70    | 760     | 113     |
| 69    | 875     | 115     |
| 68    | 992     | 117     |
| 67    | 1110    | 118     |
| 66    | 1230    | 120     |
| 65    | 1352    | 122     |
| 64    | 1476    | 124     |
| 63    | 1601    | 125     |
| 62    | 1728    | 127     |
| 61    | 1858    | 130     |
| 60    | 1990    | 132     |
| 59    | 2124    | 134     |
| 58    | 2261    | 137     |
| 57    | 2400    | 139     |
| 56    | 2541    | 141     |
| 55    | 2685    | 144     |
| 54    | 2831    | 146     |
| 53    | 2980    | 149     |
| 52    | 3132    | 152     |
| 51    | 3287    | 155     |
| 50    | 3445    | 158     |
| 49    | 3607    | 162     |
| 48    | 3772    | 165     |
| 47    | 3940    | 168     |
| 46    | 4112    | 172     |
| 45    | 4287    | 176     |
| 44    | 4466    | 179     |
| 43    | 4650    | 184     |
| 42    | 4838    | 188     |
| 41    | 5031    | 193     |
| 40    | 5228    | 197     |
| 39    | 5430    | 202     |
| 38    | 5638    | 208     |
| 37    | 5851    | 213     |
| 36    | 6070    | 219     |

Enfin, dans le nivellement des pays de coteaux, de collines, et, en général, pour des hauteurs qui n'excéderaient pas 400 mètres, on se sert ordinairement du tableau suivant, dont on porte une copie dans son porte-feuille, et qui donne la hauteur correspondante à un millimètre d'abaissement barométrique à diverses températures. On prend la différence entre les indications des baromètres aux deux stations, exprimée en millimètres et fractions de millimètres, et on la multiplie par le nombre de la table moyen entre les indications des baromètres et des thermomètres. Supposons, par exemple, que les deux baromètres indiquent 750,7 millimètres et 725,3 millimètres, et que la température de l'air soit de 15°, le nombre de la table suivante correspondant à la première indication sera 11<sup>m</sup>,2, et celui correspondant à la seconde sera 11<sup>m</sup>,6, la moyenne (11<sup>m</sup>,4), multipliée par 25,4 millimètres, différence entre les deux indications barométriques, donnera 290 mètres. La grande table eût donné 291 mètres pour la différence du niveau cherché. Si les baromètres n'avaient pas une même température, il y aurait lieu à une correction pareille à celle ci-dessus indiquée.

## HAUTEUR CORRESPONDANTE

A UN MILLIMÈTRE DU BAROMÈTRE.

|                   |          | LE THERMOMÈTRE A L'AIR ÉTANT A |           |           |           |           |           |
|-------------------|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                   |          | 10°                            | 12°       | 14°       | 16°       | 18°       | 20°       |
| LE BAROM. ÉTANT A | 76 cent. | mèt. 10,8                      | mèt. 10,9 | mèt. 11,0 | mèt. 11,1 | mèt. 11,2 | mèt. 11,3 |
|                   | 75. . .  | 11,0                           | 11,1      | 11,2      | 11,3      | 11,4      | 11,5      |
|                   | 74. . .  | 11,1                           | 11,2      | 11,3      | 11,4      | 11,5      | 11,6      |
|                   | 73. . .  | 11,3                           | 11,4      | 11,5      | 11,6      | 11,7      | 11,8      |
|                   | 72. . .  | 11,4                           | 11,5      | 11,7      | 11,7      | 11,8      | 11,9      |
|                   | 71. . .  | 11,6                           | 11,7      | 11,8      | 11,8      | 11,9      | 12,0      |
|                   | 70. . .  | 11,8                           | 11,9      | 11,9      | 12,0      | 12,1      | 12,2      |



## SECONDE PARTIE.

*Des erreurs de la méthode barométrique, de leurs causes et de leur grandeur.*

Après avoir établi les règles de la mesure des hauteurs par le baromètre, faisons connaître le degré de confiance qu'elles peuvent présenter dans les différents cas; et, à cet effet, examinons la nature et la grandeur des erreurs que l'on peut commettre en les appliquant à la pratique. Ces erreurs sont de deux espèces : les unes proviennent du plus ou moins d'exactitude des quantités qu'on introduit dans la formule à chaque cas particulier, et les autres viennent de la formule même : les premières sont les erreurs de l'observation, et les secondes sont celles de la méthode.

Quelque exercé que soit un observateur, quelque bons que soient les instruments qu'il emploie, il y a toujours une certaine limite d'erreur dans l'observation, en-deçà de laquelle il lui est presque impossible de donner aucune garantie. J'estimerai cette limite, 1.<sup>o</sup> pour le baromètre, à un dixième de millimètre; l'effet de la capillarité, la comparaison des deux baromètres, la position de l'œil, etc., ne permettent pas de garantir une moindre erreur : or, un dixième de millimètre répond, sur le terrain, à un ou deux mètres d'élévation, suivant la hauteur à laquelle on est au-dessus de la mer. 2.<sup>o</sup> À un demi-degré sur la température réelle et moyenne de toute la colonne barométrique : un degré d'erreur sur cette température répond, sur le terrain, à une erreur d'un mètre et demi (plus exactement de 1<sup>m</sup>,44), à quelque hauteur que l'on soit. 3.<sup>o</sup> À un degré au moins sur la température de chaque station, c'est-à-dire sur la vraie température de la couche de l'atmosphère où est cette station : une telle erreur, à une des deux stations seulement, en donne une des 0,002 de la hauteur mesurée. Ces erreurs, il est vrai, ne seront presque jamais toutes dans le même sens, c'est-à-dire tendant toutes à augmenter ou à diminuer la différence de niveau cherchée; mais il n'en est pas moins positif qu'elles ne permettent pas de ré-

Des erreurs  
de l'obser-  
vation.

pondre qu'une observation, faite même dans des circonstances favorables, donne une hauteur à un ou deux mètres près, plus trois ou quatre millièmes de cette même hauteur.

Les erreurs de la méthode ou de la formule peuvent encore être bien plus considérables. Cette formule est composée de trois parties principales : savoir, le coefficient constant, le facteur dépendant de la température de l'air, et celui dépendant des indications barométriques : examinons les erreurs qui peuvent provenir de chacune de ces parties. Celles qui seraient dues aux facteurs relatifs à la température du mercure et à la variation de la pesanteur, ne peuvent être qu'insignifiantes.

Erreurs provenant du coefficient.

Notre coefficient 18365, étant déduit, par un calcul rigoureux, des expériences les plus exactes que l'on ait en physique sur les poids de l'air et du mercure, doit être regardé comme la donnée définitive de la théorie. Je crois pouvoir encore dire qu'il est celle de la pratique.

Schuckburg, cherchant à vérifier et à rectifier la formule de Deluc sur le Mont-Salève et sur le Môle, près de Genève, fit plusieurs opérations trigonométriques et barométriques sur ces montagnes. En leur appliquant la formule exposée page 480, on en déduit, pour coefficient, 18405, terme moyen : mais l'auteur ayant ensuite trouvé, d'après un grand nombre d'observations postérieures, qu'il donnait les élévations d'environ 0,002 trop fortes, il se réduit à 18368.

Le général Roy a fait, en Angleterre, à diverses heures du jour et par une température moyenne de  $9^{\circ},2$ , un grand nombre de mesures trigonométriques et barométriques. Si l'on substitue au nombre 0,00441, adopté par ce savant pour la dilatation de l'air, celui de nos formules (0,004), on trouve 18349 pour coefficient.

Laplace, d'après des observations faites par Ramond dans les Pyrénées, a donné 18393, ou plutôt 18385, en en déduisant la quantité relative à la correction due à l'effet de la diminution de la pesanteur, dans le sens vertical, sur le poids de l'air.

Notre coefficient est le terme moyen entre ces trois principaux résultats des observations publiées jusqu'ici.

Celles que j'ai faites au Mont-Grégorio, avec un soin tout particulier, donnent, il est vrai, 18298; mais c'est pour midi, heure du jour où le coefficient déduit immédiatement de l'observation, doit être le plus petit; la formule, avec un coefficient constant, donnant les hauteurs plus grandes à cette heure qu'à toute autre. Si, d'après les considérations que nous allons exposer sur l'effet des heures, le coefficient 19298 est réduit à l'époque du jour et de l'année où l'on effectue la plupart des mesures barométriques, il deviendra sensiblement égal à 18365.

Ces diverses considérations m'engagent à conclure que ce coefficient est aussi exact qu'on peut le désirer, et qu'il ne saurait donner lieu à aucune erreur notable.

Il n'en sera pas de même du facteur relatif à la température de l'air,  $1 + 0,004 \frac{t+t'}{2}$ , que nous pouvons appeler le facteur thermométrique.

Erreurs  
provenant  
du facteur  
thermomé-  
trique.

Les expériences de Saussure, Dalton et Gay-Lussac, ne laissent aucun doute sur la partie de ce facteur qui exprime la quantité dont l'air, ainsi que toutes les substances gazeuses qui entrent dans la composition de l'atmosphère, se dilatent; quantité qui est de 0,00375 par chaque degré du thermomètre centigrade. Nous l'avons, il est vrai, portée à 0,004, à cause des vapeurs aqueuses répandues dans l'atmosphère; mais l'erreur qui peut résulter de cette manière de corriger l'effet des vapeurs sur la densité de l'air, ne saurait, dans aucun cas, être que très-petite. Lorsque le thermomètre est entre 10 et 20°, et l'hygromètre à cheveu entre 70 et 90°, et le plus souvent ces instruments se tiennent entre ces limites, elle ne va pas à un millième de la hauteur mesurée, et par conséquent elle doit être regardée comme nulle. Dans les temps les plus humides et les plus froids (abstraction faite de ceux où il gèle), elle ne saurait être de deux millièmes en moins; et, dans les temps chauds et secs, rarement s'élèvera-t-elle à deux et presque jamais à trois millièmes en plus.

Ce sera donc à la quantité  $\frac{t+t'}{2}$  qu'il faudra imputer les plus grandes erreurs de la méthode barométrique, et nous en avons signalé la cause en établissant la formule. Nous avons

vu que cette quantité devait exprimer la vraie température moyenne de toute la masse d'air comprise entre les deux stations, et qu'à cet effet il faudrait, 1.<sup>o</sup> que  $t$  indiquât la température de la couche inférieure de cette masse, et  $t'$  celle de la couche supérieure; 2.<sup>o</sup> que, d'une couche à l'autre, la diminution ou l'accroissement de la chaleur se fit en progression arithmétique: rarement ces deux conditions ont-elles lieu dans l'état réel des choses.

En effet,  $t$  et  $t'$ , tels que nous les prenons à nos stations, sont habituellement affectés de la situation du thermomètre à ces points, même dans les localités qui paraissent les plus favorables. Par exemple, cet instrument placé dans une grande plaine, à deux ou trois mètres au-dessus du sol, à l'ombre d'un corps étroit, en plein midi, se tiendra plus bas au milieu d'une prairie qu'au milieu d'une terre labourée blanche située un peu plus loin. Un nuage qui passera dessus, suffira souvent pour le faire baisser momentanément d'une quantité notable. Sur la cime d'une haute montagne, pour ainsi dire en pleine atmosphère, un léger vent du sud peut faire monter, comme sur un plan incliné, l'air qui repose sur le versant méridional, et qui y est fortement échauffé par les rayons du soleil et par les effets de la réverbération: il enveloppera l'observateur, même à son insu, d'un milieu plus chaud que n'est l'air dans l'atmosphère au même niveau et verticalement au-dessus de la station inférieure, et c'est cependant la vraie température de cet air que devrait représenter  $t'$ .

Quoique la masse générale des observations thermométriques faites à de grandes hauteurs, puisse porter à admettre que le décroissement de la chaleur, à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, se fait en progression arithmétique, ou du moins qu'elle n'indique pas plutôt une autre espèce de progression, il n'en est pas moins vrai qu'elle nous montre les plus grandes irrégularités dans ce décroissement, ainsi que nous l'avons vu dans la note précédente (pag. 461 — 467). Ces observations nous apprennent que la couche inférieure éprouve en température des variations continuelles, locales et presque instantanées, qui ne se font point sentir, même à une petite hauteur; de manière que la température de cette couche sort,

en quelque façon, de la progression. En conséquence, si nous l'y introduisons, et que nous la prenions comme terme extrême pour déterminer le terme moyen, nous commettrons une erreur en plus ou en moins, selon que la couche sera plus chaude ou plus froide qu'elle ne l'est moyennement. Cette erreur sera d'autant plus grande, que la variation en température sera plus forte, et qu'elle se fera ressentir à un moindre nombre de couches ou de termes de la progression, c'est-à-dire qu'elle sera plus subite. L'autre terme extrême  $t'$ , se trouvant plus élevé dans l'atmosphère, sera moins affecté des causes d'erreur que nous venons d'indiquer; mais il le sera encore, et il le sera d'autant plus, que la station supérieure tiendra à une plus grande masse de terrain, et que le thermomètre  $y$  sera plus près du sol.

Il suit de ce qui vient d'être dit, que notre facteur de température doit pécher en excès, 1.<sup>o</sup> dans les heures et les moments du jour où la chaleur à la surface de la terre s'élève au-dessus de la moyenne, et d'autant plus que cette élévation est plus brusque et plus considérable; 2.<sup>o</sup> lorsque, d'un jour à l'autre, il survient un haussement notable en température; 3.<sup>o</sup> enfin, dans la saison la plus chaude de l'année. Il péchera en moins, et d'autant plus qu'il surviendra à cette même surface, dans la journée ou d'un jour à l'autre, un refroidissement plus grand et plus subit, en admettant toutefois que le refroidissement se propage de bas en haut. Dans le cas contraire, lorsque le froid vient d'en haut, et mes observations m'ont indiqué qu'il en était souvent ainsi, il peut se faire que les quantités  $t$  et  $t'$ , quoiqu'elles aient éprouvé une forte diminution, pèchent encore par excès, comparativement à la chaleur des couches en pleine atmosphère, et qu'elles donnent ainsi des erreurs en plus.

Par suite de la cause que je viens d'exposer, l'anomalie de la température de la couche inférieure de l'atmosphère, quelle sera la grandeur des erreurs du facteur thermométrique? Malgré la multitude des observations sur la mesure des hauteurs par le baromètre, il serait difficile d'y démêler les erreurs qui dépendent uniquement de ce facteur, et d'en assigner les limites. Je vais me borner à quelques observations

particulières, qui donneront une idée de l'effet des variations de la température d'une heure à l'autre, d'un jour à l'autre, et d'une saison à l'autre.

*Effet des heures.* En prenant, dans les observations barométriques que j'ai faites, en 1809, à l'hospice du Grand-Saint-Bernard, sur le faite des Alpes, celles qui ont eu lieu du 23 Juillet au 15 Août, je trouve, pour la hauteur de cet hospice, au-dessus de l'observatoire de Turin; d'après la moyenne des observations de huit heures du matin. . . . 2196 mètr.

Midi . . . . . 2222

Quatre heures du soir. . . . . 2211

Trente-sept jours consécutifs m'ont donné, pour la hauteur du même hospice au-dessus de la ville d'Aoste,

à huit heures du matin . . . . . 1889 mètr.

à midi . . . . . 1904

à quatre heures du soir . . . . . 1898

Ainsi, comparativement à la hauteur du Saint-Bernard sur Turin trouvée à midi, celle trouvée à huit heures serait plus petite des douze millièmes, et celle de quatre heures le serait des quatre millièmes. Les observations comparatives du Saint-Bernard et d'Aoste donnent des différences qui ne sont que moitié de celles que je viens d'indiquer (1).

Le moment du lever du soleil étant le plus froid de la journée, et le froid étant alors subit et n'affectant guère que la couche de l'atmosphère en contact avec la surface de la terre, ce moment devra donner des hauteurs qui pècheront notablement en moins. Ainsi il a donné à Ramond une erreur de 60 mètres sur une hauteur de 2613. Les observations com-

(1) Le coefficient 18298, donné, pour l'heure du midi, par les observations faites au Mont-Grégorio, réduit à quatre heures du soir, dans le rapport des hauteurs du Saint Bernard sur Turin, serait 18384; il serait 18354, d'après le rapport des hauteurs au-dessus d'Aoste: la moyenne, 18369, ne différerait pas sensiblement du coefficient, 18365, indiqué par la théorie. Le moment de quatre heures semble être, sous le rapport des résultats de la formule pour la mesure des hauteurs, un terme moyen entre neuf heures du matin et six ou sept heures du soir, dans la belle saison.

paratives du Saint-Bernard et de Genève mettent dans la plus grande évidence l'effet de cette heure du jour.

La moyenne des observations faites durant quatre années consécutives, de 1818 à 1821, donne, pour la différence de niveau entre ces deux stations,

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Au lever du soleil . . . . .       | 2075 <sup>m</sup> ,8 |
| A deux heures après midi . . . . . | 2114 <sup>m</sup> ,3 |
| Excès . . . . .                    | 38 <sup>m</sup> ,5   |

La différence de niveau réelle paraît être 2109 mètres (1). Ainsi l'erreur donnée par les observations du lever du soleil serait de 32 mètres ou de  $1\frac{1}{2}$  pour cent. Mais il faut remarquer qu'il s'agit ici d'une moyenne de quatre années; car, d'ailleurs les moyennes de mois entiers nous donneraient quelquefois  $2\frac{1}{2}$  pour cent, et des observations isolées donneraient jusqu'à 4 à 5 pour cent.

*Effet des jours.* Cet effet est moins fortement prononcé que celui des heures, et il doit en être ainsi, d'après la nature de la cause qui produit l'un et l'autre. Cependant, encore ici nous pouvons admettre qu'en général, lorsque la tempéra-

(1) Mes observations de quatre heures du soir, ci-dessus rapportées, donnent 2211 mètres pour la hauteur du rez-de-chaussée de l'hospice au-dessus de la plate-forme de l'observatoire de Turin, plate-forme qui est à 291 mètres au-dessus de la mer de Gènes; ainsi le Saint-Bernard serait à 2502 mètres au-dessus de cette mer; mes observations de midi, depuis le 23 Juillet jusqu'au 11 Septembre, avec le coefficient conclu des expériences du Mont-Grégorio, donnent 2216; mais, vu la saison chaude où les observations ont été faites, je pense qu'on doit diminuer de quelques mètres, et encore ici on aurait 2211, et par suite 2502 au-dessus de la mer. Toutefois, comme la hauteur de Turin a été conclue d'après les règles barométriques de Deluc, lesquelles donnent les hauteurs d'environ deux centièmes trop faibles, il y aura lieu à une augmentation de près de 6 mètres; en la réduisant de moitié, je porterai définitivement à 2505 mètres la hauteur du Saint-Bernard, donnée par cinquante-deux jours d'observations barométriques faites avec soin, avec des instruments bons et bien comparés.

La Bibliothèque universelle la porte à 2491 mètres; mais comme

ture augmente ou diminue d'un jour à l'autre, il y a aussi augmentation ou diminution dans la hauteur calculée. Durant les cinquante-deux jours d'observations faites au Saint-Bernard; en 1809, je n'ai vu qu'un exemple du contraire; car, d'ailleurs, pendant ce temps, le thermomètre ayant baissé au-dessous de la moyenne de cinquante-deux jours, de 7°, 8° et 9°, les hauteurs respectives ont été de 28, 41 et 47 mètres au-dessous de la moyenne; dans d'autres jours, la température s'étant élevée de 4° et 4½°, les hauteurs ont augmenté de 17 et 20 mètres.

Cependant, lors des grands abaissements de température, il arrive assez souvent que le froid est d'abord porté dans les hautes régions de l'atmosphère, vraisemblablement par quelque vent du nord. De ces régions il se transmet à la couche inférieure; mais comme cette transmission ne se fait encore que peu à peu, il arrivera quelquefois que, bien que la température ait considérablement baissé dans cette couche, elle s'y trouvera encore trop au-dessus de celle des couches supérieures, et donnera lieu à une erreur en plus. Nous en avons un exemple dans le grand froid de Janvier 1820 : le 7 du mois, la température moyenne entre les thermomètres de Genève et du Saint-Bernard était — 2°,7; le lendemain, elle fut de — 12°,6. En voyant un abaissement aussi considérable et aussi brusque, je crus qu'il allait faire aussi baisser les résultats des

c'est en prenant une moyenne entre le résultat des observations faites au lever du soleil et celui des observations de deux heures, et que le premier pèche bien davantage en moins que le second en plus, l'estimation est manifestement trop faible.

Le baromètre de Genève qui a servi aux comparaisons, est à 396 mètres au-dessus de la mer; ainsi la différence de niveau entre les deux stations serait de 2109 mètres.

Il serait bien à désirer qu'un bon nivellement, fait avec grand soin et répété, levât tout doute sur cette différence, et fixât définitivement et positivement la hauteur du Saint-Bernard : la science y a un grand intérêt; il s'agit de l'habitation la plus élevée de l'Europe, et par suite du plus important des observatoires météorologiques : l'élévation faisant son mérite, il faudrait la connaître aussi exactement que possible.



formules; mais, à mon grand étonnement, ce résultat se trouva augmenté: le 7, il avait été de 2089 mètres; le 8, il fut de 2118. Un examen attentif des circonstances météorologiques et le calcul m'indiquèrent que ce jour la température de la masse d'air comprise entre les deux stations, au lieu d'être — 12°,6, était en réalité de — 15°: ce ne fut que le lendemain que ce degré de froid parvint à la surface de la terre, et la hauteur se trouva alors de 2096 mètres, qui diffère peu de la hauteur réelle. De même, le 31 Mars 1822, le thermomètre ayant brusquement baissé de 15°, la hauteur qui, la veille, était de 2123, fut de 2152 mètres.

*Effet des saisons.* Le tableau suivant, plus que toute digression, fera pleinement ressortir cet effet. Nous allons y donner, mois par mois, la hauteur du Saint-Bernard sur Genève, calculée d'après la moyenne des indications barométriques et thermométriques de chaque mois, à deux heures après midi, et prises durant les quatre années de 1818 à 1821. Dans de telles moyennes, les effets accidentels se compensent et disparaissent; il ne reste plus que l'effet de la cause générale.

| INDICATION<br>DU MOIS. | HAUTEUR<br>CALCULÉE. | DIFFÉRENCE<br>AVEC<br>LA MOYENNE |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|
|                        | mèt.                 |                                  |
| Janvier. . . . .       | 2091                 | —23                              |
| Février. . . . .       | 2103                 | —11                              |
| Mars. . . . .          | 2121                 | + 7                              |
| Avril. . . . .         | 2125                 | +11                              |
| Mai. . . . .           | 2135                 | +21                              |
| Juin. . . . .          | 2142                 | +28                              |
| Juillet. . . . .       | 2126                 | +12                              |
| Août. . . . .          | 2122                 | + 8                              |
| Septembre. . . . .     | 2121                 | + 7                              |
| Octobre. . . . .       | 2104                 | —10                              |
| Novembre. . . . .      | 2092                 | —22                              |
| Décembre. . . . .      | 2090                 | —24                              |
| Moyenne. . . . .       | 2114                 |                                  |

La différence entre les résultats des deux mois extrêmes est donc ici de  $2\frac{1}{2}$  pour cent de la hauteur mesurée.

En examinant la colonne des différences, on voit que les hauteurs croissent avec la température; mais elles ne croissent pas exactement dans le même rapport, le *maximum* et le *minimum* de hauteur précèdent le *maximum* et le *minimum* de température. Il en doit être ainsi : la chaleur, avons-nous vu, se communique, mais peu à peu, de la couche inférieure de l'atmosphère aux couches supérieures; plus l'augmentation de température reçue par la couche inférieure sera rapide, plus il y aura de différence entre sa température et celle des couches supérieures, et plus la formule péchera en excès, mais vers la fin de l'augmentation, où il y aura moins de rapidité dans l'accroissement, et il y en a toujours moins aux approches du *maximum*, l'erreur sera moins considérable : elle serait nulle, quelque forte que fût la chaleur, si celle-ci se maintenait au même degré dans l'atmosphère pendant une période assez longue; alors l'équilibre s'établirait parfaitement, les indications des baromètres se mettraient complètement en rapport avec celle des thermomètres, et la formule, entièrement applicable à ce cas, donnerait un résultat exact.

Erreurs du  
facteur baro-  
métrique.

La méthode barométrique pour la mesure des hauteurs, repose sur la supposition que, dans la masse d'air comprise entre les deux stations, une même couche horizontale de l'atmosphère éprouve dans toutes ses parties une égale pression, ou, en d'autres termes, que le baromètre se tient dans cette couche partout à une même hauteur. D'où il suit que les variations continuelles qui affectent cet instrument sur un point, devraient se faire ressentir simultanément sur tout autre point de la même couche, ou, ce qui revient au même, que la marche de deux baromètres placés en des lieux différents, devrait conserver son parallélisme au milieu de ses variations. Quoique les observations indiquent un parallélisme vraiment surprenant dans les mouvements de deux baromètres placés à deux cents lieues et plus de distance; que l'on ait vu, le 24 Décembre 1821, cet instrument baisser d'une quantité extraordinaire, et presque à la même heure, à Dieppe et au Saint-Bernard, malgré une distance de 63 myriamètres; cepen-

dant, lorsqu'on étudie la marche de deux baromètres dans ses détails, nous voyons que le mouvement ne se propage que successivement et avec une vitesse qui n'a quelquefois rien de bien extraordinaire : ainsi, la très-grande élévation que le baromètre éprouva le 4 Février 1821, a employé plus de vingt-quatre heures pour se transmettre des bords de la Manche à ceux de l'Adriatique. Le plus grand abaissement barométrique que l'on ait vu dans notre âge, celui du 2 Février 1823, fut à son *maximum*, à Toulouse, vers trois heures et demie du matin ; à l'observatoire de Viviers, vers onze heures quarante minutes ; à Genève, vers trois heures et demie après midi, et au Saint-Bernard, à quatre heures et demie : la distance de ce dernier point à Toulouse étant de 53 myriamètres, la vitesse de l'onde barométrique aura été  $11 \frac{1}{3}$  mètr. par seconde ; c'est celle d'un vent très-fort.

Les observations faites lors de cette grande perturbation barométrique semblent indiquer que la vitesse de transmission est indépendante de celle des vents : l'ondulation, pour arriver au Saint-Bernard, a mis presque autant de temps en venant de Dieppe, éloigné de 63 myriamètres au nord-ouest, que de Toulouse, placé au sud-ouest, à 53 myriamètres.

Il suit de ce que nous venons d'exposer, que les mouvements du baromètre, malgré la rapidité de leur transmission d'un lieu à un autre, n'y sont pas assez simultanés, lorsque l'éloignement est considérable, pour qu'il n'en résulte souvent de fortes erreurs dans la mesure des hauteurs : j'en ai eues d'environ 50 mètres sur la hauteur (2453 mètres) du Saint-Bernard au-dessus de Paris, par une distance de 50 myriamètres. Mais, lorsque la distance entre les deux stations n'est que de 3 ou 4 myriamètres, l'erreur ne saurait être considérable, et presque toujours elle sera insensible : ainsi, quoique le Saint-Bernard soit à plus de 11 myriamètres de Turin, dans mes cinquante-deux jours d'observations, je n'ai pas trouvé, sur une hauteur de 2211 mètres, une erreur de 10 à 12 mètres que je pusse attribuer avec vraisemblance au facteur barométrique.

De telles erreurs, insignifiantes sur de grandes hauteurs, tirent bien plus à conséquence sur les petites ; car les erreurs

du facteur barométrique sont absolues et point proportionnelles aux hauteurs : elles seraient d'égale grandeur sur une élévation de dix mètres, et sur une de mille, si, comme il est vraisemblable, les variations de deux baromètres placés dans une même verticale, sont à peu près simultanées. Supposons; par exemple, un baromètre placé verticalement au-dessous du Saint-Bernard et à un mètre au-dessus du niveau de Genève : le 2 Février 1823, le baromètre du Saint-Bernard, qui, durant toute la matinée, était descendu proportionnellement à celui de Genève, baissa tout à coup, dans l'après-midi, de 1,7 millimètres de plus, et il en résulta une erreur de 24 mètres dans l'estimation de la mesure. Le baromètre, que nous avons supposé au-dessous, aurait éprouvé un abaissement proportionné, et par suite il aurait donné lieu à une pareille erreur de 24 mètres; mais cette quantité, qui est fort petite sur une élévation de 2211 mètres, devient énorme pour celle d'un mètre. L'expérience présente quelquefois des faits de ce genre : un baromètre, établi à Rolle, à 32 kilomètres de Genève et à 15  $\frac{1}{2}$  mètres au-dessus de celui qu'on observe dans cette ville, a indiqué, même d'après la moyenne des observations d'un mois entier, une différence de niveau de 33<sup>m</sup>,6, et par suite plus que double de la différence réelle (1).

Au reste, les résultats du nivellement barométrique, même pour de petites hauteurs, sont d'ordinaire beaucoup plus satisfaisants. En 1816, il a été fait, par M. Marqué-Victor et par M. Laffore, ingénieur des ponts et chaussées, cinquante-six observations simultanées, en huit jours, à Toulouse, et à Naurouse point de partage des eaux du canal de Languedoc. La distance entre les deux stations est de 43 kilomètres, et la différence de niveau, connue d'après un grand nombre de nivellements, est de 50<sup>m</sup>,1. Le résultat moyen des observations barométriques a été 50<sup>m</sup>,2. Le tableau de ces observations en présente neuf hors de ligne, dont quelques-unes donnent jusqu'à 4 mètres d'erreur; mais, en bonne critique, elles seraient dans le cas d'être rejetées, tout indique que plusieurs d'entre elles ne sont dues qu'aux erreurs de l'observation. Dans

---

(1) Bibliothèque universelle.

les quarante-cinq autres, les différences n'excèdent pas deux mètres, et elles sont tantôt en plus, tantôt en moins.

L'harmonie que j'ai vu régner en général dans les résultats de mes nombreuses mesures barométriques, et l'idée que la plupart des anomalies qu'ils présentaient quelquefois n'étaient que le simple effet des erreurs de l'observation ou des circonstances du moment, me portaient à croire que ces erreurs et ces circonstances s'affaibliraient et se compenseraient dans les moyennes des mesures de la même hauteur, prises un grand nombre de fois, et par conséquent que ces moyennes offriraient des écarts bien moins grands. Cependant elles m'en ont offert encore de considérables, et ils provenaient principalement du facteur barométrique. On en a un exemple dans le tableau suivant, où sont consignées les moyennes des observations barométriques et thermométriques faites chaque année à l'hospice du Saint-Bernard et à Genève, depuis 1818, époque où il a été établi un observatoire météorologique dans le premier de ces lieux. Nous donnons en même temps le résultat de ces observations, c'est-à-dire la différence de niveau que l'on en a conclue.

| ANNÉE. | BAROMÈTRE. |                | THERMOMÈTRE. |             | HAUTEUR<br>cocher. | DIFFÉRENCE<br>avec<br>la moyenne. |
|--------|------------|----------------|--------------|-------------|--------------------|-----------------------------------|
|        | Genève.    | Saint-Bernard. | Genève.      | St-Bernard. |                    |                                   |
|        | mm.        |                |              |             | mèt.               | m.                                |
| 1818   | 728,48     | 563,77         | 9°,95        | —0,77       | 2094               | + 2                               |
| 1819   | 726,35     | 562,67         | 10,26        | —0,91       | 2092               | 0                                 |
| 1820   | 727,90     | 564,75         | 9,54         | —1,39       | 2069               | —23                               |
| 1821   | 728,38     | 563,80         | 10,35        | —0,49       | 2095               | + 3                               |
| 1822   | 727,85     | 565,03         | 10,35        | +0,50       | 2075               | —17                               |
| 1823   | 728,05     | 562,43         | 8,12         | —1,04       | 2100               | + 8                               |
| 1824   | 728,61     | 562,92         | 8,32         | —0,70       | 2101               | + 9                               |
| 1825   | 729,89     | 562,80         | 9,44         | —0,70       | 2122               | +30                               |
| 1826   | 726,25     | 563,48         | 9,70         | —2,12       | 2067               | —5                                |
| 1827   | 727,84     | 562,15         | 10,09        | —2,24       | 2105               | +13                               |
| Moy.   | 728,01     | 563,38 (1)     | 9,61         | —0,98       | 2092               | 0.                                |

(1) La Bibliothèque universelle, en donnant (tom. 37) les tables

Avec surprise on voit la moyenne de 1826 donner une hauteur de 55 mètres plus faible que la moyenne de 1825 : la cause en est visible ; en 1826, le baromètre a été, à Genève, de 3,64 millimètres plus bas que l'année précédente : pour donner une hauteur égale, le baromètre du Saint-Bernard eût dû baisser proportionnellement, c'est-à-dire de 2,81 millimètres, et il a haussé au contraire de 0,68 millimètres : de plus, il semble, comme il arrive ordinairement, que le facteur thermométrique, pour compenser la diminution du facteur barométrique, eût dû augmenter, c'est-à-dire que la température, en 1826, eût dû être plus considérable, et elle a été au contraire de 1°,16 plus faible. Lorsque le changement, dans les heures de l'observation de 1825 à 1826, eut produit une partie de la différence entre les résultats de ces deux années (1), cette même cause ne serait pour rien dans les 38 mètres de différence que l'on a encore de 1826 à 1827 : dans cette dernière année, le baromètre a été, à Genève, de 1,59 millimètres plus haut que l'année précédente : au Saint-Bernard il a été, au contraire, de 1,33 millimètres plus bas, la température étant à très-peu près la même : ainsi, la moyenne de plus de mille observations, faites dans chacune des deux années consécutives, à chacune des deux stations, donne une différence de près d'un pour cent sur la hauteur moyenne des deux années.

---

des observations, indique pour cette moyenne générale, 20 pouces 9,58 lignes ou 562,96 millimètres ; ainsi 0,42 millimètres de moins que notre tableau : cette différence tient vraisemblablement à une erreur typographique dans quelqu'une des observations. Admettant la moyenne 562,96 millimètres, on aurait eu une hauteur moyenne de 2098 mètres, c'est-à-dire de 6 mètres plus forte que celle que nous avons obtenue.

Cette hauteur 2098 mètres est encore de 11 mètres au-dessous de celle que nous avons cru devoir admettre, p. 494 ; et encore ici la raison en est que dans la détermination des moyennes on a compris les indications thermométriques faites au lever du soleil, lesquelles donnent des résultats trop faibles.

(1) Jusqu'en 1825 inclusivement, les observations étaient faites au lever du soleil et à 2 heures après midi : en 1826 et 1827, elles l'ont été à 9 heures, à midi et à 3 heures.

Des observations isolées, faites avec soin et dans des circonstances ordinaires, fourniront des résultats moins anomaux. Je donnerai en preuve ceux des dix observations faites par M. Mallet et moi, au pied et à la cime du Mont-Grégorio, en Octobre 1809: les différences au-dessus de la moyenne (1715<sup>m</sup>,8) n'ont été que de 1 à 2 millièmes; une fois seulement elles se sont élevées à 3 millièmes.

| JOUR.                 | HAUTEUR.   | DIFFÉR. |
|-----------------------|------------|---------|
|                       | mèt.       |         |
| 1. <sup>er</sup> Oct. | 1715,1     | —0,7    |
| 4                     | 1712,4     | —3,3    |
| 7                     | 1714,1     | —1,7    |
| 8                     | 1714,9     | —0,9    |
| 17                    | 1714,6     | —1,2    |
| 18                    | 1721,4     | +5,6    |
| 20                    | 1718,8     | +3,0    |
| 25                    | 1713,2     | —2,6    |
| 30                    | 1718,3     | +2,5    |
| 31                    | 1715,0     | —0,8    |
| Moyen.                | 1715,8 (1) | 0,0     |

Résumant ce que nous venons d'exposer au sujet des erreurs auxquelles est sujette la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre, nous dirons: qu'en faisant abstraction des causes manifestes d'erreur, telles qu'un changement brusque et considérable dans la température, une forte pluie, ou une grêle qui refroidirait tout à coup l'air, les approches d'un orage, l'époque d'une tempête ou d'une grande perturbation dans l'atmosphère, une distance de plus de dix myriamètres entre les deux stations, une position dans laquelle le thermomètre indiquerait manifestement une température différente de celle qui règne en pleine atmosphère au même niveau, et les moments voisins du lever du soleil, la méthode barométrique doit donner les hauteurs, qui excéderaient quatre ou cinq cents mètres, à moins d'un centième près de leur valeur. On atteindra rarement cette limite d'erreur, et lorsque les circonstances météorologiques, ou celles de position, ne seront pas défavorables, et que les deux stations ne seront qu'à quelques myriamètres, on aura habituellement les hauteurs à deux, trois ou quatre millièmes près de leur valeur réelle.

---

(1) La hauteur réelle est 1708<sup>m</sup>,4: mais les observations d'où nous avons conclu cette moyenne, ayant été faites à midi, ont dû donner un résultat notablement plus considérable, ainsi que nous l'avons déjà remarqué.

*Considérations pratiques.*

Disons quelques mots sur les instruments et sur la manière de les observer.

Les baromètres destinés à la mesure des hauteurs doivent réunir deux avantages qui semblent presque incompatibles : ils doivent être faciles à transporter et à manier, sujets à peu de dérangements ; et, en même temps, ils doivent donner les élévations du mercure avec une grande exactitude. De tous ceux qui ont été faits jusqu'ici, aucun ne réunit mieux ces avantages que ceux construits par M. Fortin, artiste de Paris ; ils conviennent principalement aux déterminations fort exactes. On en fait à Londres de très-simples et très-légers, et qui donnent des résultats d'une exactitude suffisante pour les opérations ordinaires de la géologie, et même de la géographie physique : ils sont décrits dans le tome 42 de la *Bibliothèque britannique*. Peut-être sont-ils surpassés encore, en simplicité et en commodité, par ceux dont on est redevable à M. Gay-Lussac, et dont il a fait connaître la construction au tome 1.<sup>er</sup> des *Annales de physique et de chimie*.

Le baromètre doit être garni d'un vernier indiquant les dixièmes de millimètre, et portant, en avant et en arrière du tube de verre, deux plaques ou repères qui fixent avec précision la position du rayon visuel de l'observateur. Immédiatement avant l'observation, on donnera un petit mouvement au mercure : on vérifiera si celui de la cuvette répond bien au zéro de l'échelle, et on frappera légèrement sur le tube, ou plutôt sur sa monture, afin de rompre l'adhérence du mercure au verre, et d'affaiblir les effets de la capillarité. Ensuite on baissera le vernier jusqu'à ce que le rayon visuel soit tangent, ou plutôt presque tangent, au sommet de la convexité de la colonnette de mercure.

Le baromètre portera un thermomètre placé de manière à donner le plus exactement possible la température du mercure dans le tube. A cet effet, sa boule doit être garantie du contact immédiat de l'air extérieur, et l'instrument doit être tenu assez long-temps en expérience pour qu'il prenne partout



le même degré de chaleur ; il faut éviter, autant que possible, de le mettre au soleil.

Les thermomètres destinés à donner la température de l'air, doivent avoir la boule nue, et être très-sensibles. Il faut les disposer de manière à ce qu'ils indiquent la température de la couche d'air dans laquelle ils se trouvent telle que cette température est en pleine atmosphère. L'observateur fera usage de tout son discernement pour faire qu'il en soit réellement ainsi : en conséquence il devra les éloigner, autant que possible, du sol ; les placer à 6, 5 et même à 8 ou 10 mètres de hauteur, si cela se peut ; les tenir à l'ombre d'un corps étroit, de manière à ce qu'ils ne soient point frappés par les rayons du soleil, tout en donnant la température de l'air échauffé par ces mêmes rayons ; les garantir de la réverbération des corps voisins, etc.

Les divers instruments qui servent aux deux stations doivent être fréquemment comparés entre eux ; ils doivent encore l'avoir été avec des instruments d'une bonté reconnue. Ainsi, les baromètres seront comparés avec un très-bon baromètre à siphon, ou avec celui de quelque observatoire. La différence qui pourra exister entre eux, et qui pourra provenir, ou de la capillarité, ou du placement du zéro de l'échelle, sera une quantité constante à ajouter ou à retrancher dans chaque observation.

#### SOLUTION ANALYTIQUE DU PROBLÈME.

Établissons la formule, pour la détermination des hauteurs à l'aide du baromètre, dans toute sa généralité ; soit à cet effet,

$x$  = différence de niveau entre les deux stations.

$a$  = hauteur de la station inférieure au-dessus de la mer.

$H$  = longueur de la colonne barométrique à la station inférieure.

$h$  = longueur de la colonne à la station supérieure.

$p$  = densité du mercure à zéro du thermomètre.

$p'$  = densité du mercure dans le baromètre inférieur.

$p''$  = densité du mercure dans le baromètre supérieur.

$G$  = gravité au niveau de la mer, et à  $45^\circ$  de latitude.

$g$  = gravité au niveau de la mer, dans le lieu de l'observation.

$g'$  = gravité à la station inférieure.

$g''$  = gravité à la station supérieure.

$q$  = densité de l'air sec, au niveau de la mer, à  $45^\circ$  de latitude, à zéro du thermomètre, et sous la pression barométrique de  $G$ .  $p$ . 0,76 mètres.

$q'$  = densité de l'air à la station inférieure, et par suite sous la pression  $g' p' H$ .

$q''$  = densité de l'air à la station supérieure, ou sous la pression  $g'' p'' h$ .

$r$  = rayon terrestre, qu'on peut ici regarder comme le même à toutes les latitudes, et égal à 6366400 mètres.

Lorsqu'une masse d'air est en équilibre, toutes les parties d'une même couche horizontale éprouvent une égale pression ; ainsi, toutes les colonnes atmosphériques d'un même diamètre qui reposent sur cette couche sont égales en poids, et ce poids équivalant à celui de la colonne de mercure d'un baromètre placé dans la même couche : d'où il suit que *le poids d'une colonne verticale d'air, prise entre les niveaux des deux stations, est égal à la différence entre les poids des colonnes barométriques à ces stations.* De là, l'équation fondamentale

$$\int g'' q'' dx = g' p' H - g'' p'' h;$$

car, la base des colonnes étant 1,  $g'' q'' dx$  est le poids de la tranche différentielle de la colonne d'air prise à la hauteur  $x$ .

La gravité étant en raison inverse du carré de la distance au centre de la terre, on a

$$\frac{g''}{g} = \left( \frac{r}{r + a + x} \right)^2 = 1 - \frac{2a + 2x}{r}$$

en observant que tous les termes qui contiendraient  $r^2$  au dénominateur sont extrêmement petits et peuvent être négligés.

Faisons

$$x \left( 1 - \frac{2a+x}{r} \right) = x' :$$

la différenciation donnera

$$g'' dx = g dx'.$$

La température étant supposée égale, les densités de l'air sont comme les poids comprimants, ainsi

$$\frac{q'}{q''} = \frac{g' p' H}{g'' p'' h},$$

De sorte que l'équation fondamentale devient

$$f g q'' dx' = g' p' H - g' p' H \frac{q''}{q'}.$$

En différenciant, on a

$$g dx' = - \frac{g' p' H}{q'} \cdot \frac{dq''}{q''},$$

dont l'intégrale (la constante étant déterminée pour la station inférieure, où  $x = 0$  et  $q'' = q'$ ) est

$$\begin{aligned} g x' &= \frac{g' p' H}{q'} [\log. q' - \log. q''] = \frac{g' p' H}{q'} \log. \frac{q'}{q''} \\ &= \frac{g' p' H}{q'} \log. \frac{g' p' H}{g'' p'' h}. \end{aligned}$$

Mettant pour  $x'$  la valeur ci-dessus, et substituant les logarithmes tabulaires aux logarithmes hyperboliques,  $m$  étant le module des premiers, on a

$$x = \frac{g' p' H}{g q' m} \left( \log. \frac{g' p' H}{g'' p'' h} \right) \left( 1 + \frac{2a+x}{r} \right) \dots (O)$$

Substituons des quantités constantes ou connues aux variables qui sont dans cette équation.

La gravité varie, à diverses latitudes, proportionnellement à la longueur du pendule; et cette longueur étant, à une latitude  $l$ , égale à 0,990031 mètre + 0,005637  $\sin.^2 l$ , on conclut, en observant que  $2 \sin.^2 l = 1 - \cos. 2l$ , et qu'à  $45^\circ \cos. 2l = 0$ ,

$$g = G (1 - 0,00284 \cos. 2l).$$

La densité de l'air dépend non-seulement des poids comprimants, mais encore de la température à laquelle ce fluide est soumis, et des vapeurs qui y sont mêlées. Quoique la chaleur décroisse progressivement d'une station à l'autre, il est cependant clair que  $x$ , c'est-à-dire la longueur d'une colonne d'air entre les deux stations, restera le même si l'on admet, dans toute son étendue, une température uniforme et égale à sa température moyenne, soit  $\alpha$  cette température moyenne : on sait qu'une masse d'air, dont le volume est 1 à  $0^\circ$  du thermomètre centigrade, occupe un volume représenté par  $1 + 0,00375 \alpha$ , à  $\alpha^\circ$  du même thermomètre, et que les densités suivent le rapport inverse des volumes. Les vapeurs aqueuses, en se mêlant à l'air, en diminuent la densité ; si celle de l'air sec est exprimée par 1, et que  $\Delta$  représente la diminution moyenne due à l'effet de la vapeur dans la masse d'air comprise entre les deux stations,  $1 - \Delta$  exprimera la densité de cette masse (1). Prenant en considération les trois éléments de la densité de l'air, nous aurons donc :

$$q : q' :: G.p. 0,76 \times (1 + 0,00375 \alpha) \times 1 : g' p' H \times 1 \times (1 - \Delta),$$

$$\text{ou } \frac{g' p' H}{q'} = \frac{G.p. 0,76}{q} (1 + 0,00375 \alpha) (1 - \Delta).$$

Le mercure se dilate de 0,000180, par degré du thermomètre centigrade ; de sorte que si  $T$  est la température du baromètre inférieur et  $T''$  celle du baromètre supérieur, on aura, à très-peu près  $\frac{p'}{p''} = 1 - 0,00018 (T - T'')$  ;

$$\text{De plus } \frac{g'}{g''} = 1 + \frac{2x}{r}.$$

(1)  $\Delta$  n'est qu'une très-petite fraction dont la valeur est  $\frac{3 F}{8 K}$ ,  $K$  étant la hauteur du baromètre dans la masse d'air que l'on considère, et  $F$  la force élastique de la vapeur renfermée dans cette même masse ; nous avons fait connaître, Note V, le mode de sa détermination.

Ainsi,

$$\log. \frac{g' p' H}{g'' p'' h} = \log. \frac{H}{h} + \log. [1 - 0,00018 (T - T'')] +$$

$$\log. \left(1 + \frac{2x}{r}\right) = \log. \frac{H}{h} - 0,000078 (T - T'') + \frac{2xm}{r},$$

puisque les derniers logarithmes appartenant à l'unité suivie de très-petites fractions, sont ces fractions mêmes multipliées par le module  $m$  ( $= 0,43429$ ).

Substituant, dans l'équation (O), les valeurs de  $g$ ,  $\frac{g' p' H}{g'' p'' h}$  et  $\log. \frac{g' p' H}{g'' p'' h}$  que nous venons de trouver, nous aurons

$$x = \frac{p \cdot 0,76}{q \cdot m} (1 + 0,00375 \alpha) (1 + \Delta) (1 + 0,00284 \cos. 2 l)$$

$$\left(1 + \frac{2x}{r}\right) \left[\log. \frac{H}{h} - 0,000078 (T - T'') + \frac{2xm}{r}\right]$$

faisons, pour abréger

$$\frac{p \cdot 0,76}{q \cdot m} = c$$

$$\log. \frac{H}{h} - 0,000078 (T - T'') = d$$

$$1 + 0,00375 \alpha = \gamma$$

$$1 + \Delta = \phi$$

$$1 + 0,00284 \cos. 2 l = \lambda$$

et dégageant  $x$ , nous aurons pour équation finale,

$$x = \gamma \phi \lambda d \left(c + \frac{2c^2 \gamma \phi \lambda m}{r} + \frac{2c \alpha}{r} + \frac{c^2 \gamma \phi \lambda d}{r}\right) \dots (P)$$

Opérons, dans cette formule, quelques transformations convenables à la pratique; et observons avant, que, d'après les expériences de MM. Biot et Arago, sur les poids de l'air et du mercure,  $\frac{p}{q} = 10467$ , et par suite que le *coefficient constant*  $c = 18317$  mètres.

Le terme  $\frac{2c^2 \gamma \phi \lambda m}{r}$  étant très-petit, par rapport à  $c$ , on peut y négliger  $\phi$  et  $\lambda$ , qui ne diffèrent que très-peu de l'unité: en donnant ensuite à  $\gamma$  les valeurs qu'il peut avoir de 0° à

26°, qui sont les extrêmes de température qu'on puisse admettre dans la mesure des hauteurs, ce terme ne variera que de 46 à 50 mètres. Ainsi, en l'ajoutant à 18317, on peut le supposer constant et égal à 48 mètres : faisant ensuite  $18317 + 48 = c'$ , et, observant que  $\frac{c'}{r}$  ne diffère pas sensiblement de  $\frac{c}{r}$ , on aura,

$$x = c' \gamma \phi \lambda d + \frac{c' \gamma \phi \lambda d \cdot 2\alpha}{r} + \frac{(c' \gamma \phi \lambda d)^2}{r}$$

Lorsque la station inférieure est au niveau de la mer (et même qu'elle n'est pas à plus de 300 mètres au-dessus), le terme renfermant  $\alpha$  s'évanouit; alors

$$x = c' \gamma \phi \lambda d + \frac{(c' \gamma \phi \lambda d)^2}{r} \dots (R)$$

expression très-commode pour le calcul, puisque le second terme n'est que le carré du premier divisé par  $r$ .

La quantité  $\Delta$  varie, dans l'atmosphère, de 0,001 à 0,008 : en général, elle croît avec la température; et sans s'exposer à commettre une erreur notable, on peut faire  $\Delta = 0,0025 \alpha$ ; ou, ce qui est la même chose, faire, avec Laplace,  $\gamma \phi = 1 + 0,004 \alpha$ . Nous avons déjà admis, avec ce même savant (p. 477),  $\alpha = \frac{t + t'}{2}$ .

D'après tout cela, et faisant  $x' = c' \gamma \phi \lambda d$ , on retrouve les équations finales données page 480.

$$x' = 18365 (1 + 0,00284 \cos. 2 l) [1 + 0,002 (t + t')] ]$$

$$[\log. H - \log. h - 0,0000782 (T - T')], \text{ et}$$

$$x = x' \left( 1 + \frac{2\alpha + x}{r} \right).$$

Calcul  
des tables.

Si l'on nomme  $B$  et  $b$  l'élévation de nos deux stations au-dessus du niveau de la mer, ou plutôt au-dessus du point, très-voisin de ce niveau, où le baromètre serait à 0<sup>m</sup>,77 au moment de l'observation; en supposant, encore ici, que la

température, tant des baromètres que de l'air, est à 0°, et qu'on se trouve au 45.<sup>e</sup> degré de latitude; on aura

$$x = B - b'$$

et la formule (R) donnera

$$B = 18365 (\log. 0,77 - \log. H) + [18365 (\log. 0,77 - \log. H)]^{\frac{1}{r}}$$

$$b = 18365 (\log. 0,77 - \log. h) + [18365 (\log. 0,77 - \log. h)]^{\frac{1}{r}}$$

ce sont les valeurs de  $B$  ou  $b$ , correspondantes aux diverses valeurs de  $H$  ou  $h$ , que donnent les deux tables portées aux pages 482 et 485.

La correction relative à la température de l'air se fera de la manière ordinaire. Celle relative à la température des baromètres s'effectuera en retranchant 1 % ( $T - T'$ ); puisque  $18365 \times 0,0000782 = 1,44$  ou 1 % (1). La correction due à la diminution de pesanteur dans le sens vertical est implicitement comprise dans la valeur  $B - b$ ; on a donc rigoureusement

$$x = [B - b - 1,5 (T - T')] [1 + 0,002 (t + t')].$$

Les règles établies pour l'usage des tables susmentionnées découlent de cette formule. La correction relative à la variation de la pesanteur en latitude se fera par la méthode indiquée page 479.

Terminons par quelques considérations théoriques sur la formule et sur la nature de son coefficient constant.

Reflexions  
théoriques.

Si l'on suppose que la température est à 0°, que l'air est sec, et que la gravité est constante, l'équation générale (P) se réduit simplement à

$$x = c d = 18317 (\log H - \log h).$$

Les facteurs  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$ , corrigent successivement l'effet de la supposition relativement à la température, à l'humidité et

---

(1) Nous avons donné dans la note, page 483, les raisons qui nous ont porté à substituer 1,5 à 1,44, indépendamment d'une plus grande facilité dans le calcul.

à la variation de la gravité en latitude. Quant à ce qui est de la variation de cette force dans le sens vertical, l'effet de la supposition est corrigé par les trois derniers termes du facteur complexe, dans l'équation générale (P). Ces termes, d'après ce qui a été dit ci-dessus, et en observant que  $\frac{c \gamma \rho \lambda d}{r}$  ne diffère pas sensiblement de  $\frac{x}{r}$ , peuvent s'écrire ainsi qu'il suit :

$$48 + 0,0058 x + 0,0029 x.$$

Le premier des trois est relatif à la diminution de poids du mercure dans les baromètres, et les deux autres le sont à la diminution du poids de la masse d'air comprise entre les deux stations. Le premier augmente le coefficient de la quantité constante 48 mètres, le second l'augmente d'environ 0,006  $x$ , et le dernier de 0,003  $x$ .

Le coefficient constant  $\tau$  a pour expression  $\frac{p \cdot 0,76 \text{ mètr.}}{q \cdot m.}$ , ou plus généralement  $\frac{p \cdot b}{D \cdot m}$ ,  $b$  étant une hauteur barométrique quelconque, et  $D$  la densité de l'air sous cette pression  $b$ ; car  $\frac{0,76}{q} = \frac{b}{D}$ . Si  $b$  représentait l'indication du baromètre au niveau de la mer, et que l'atmosphère eût partout la densité qu'elle a à ce niveau, la hauteur de l'atmosphère, ainsi constituée, étant la longueur de la colonne barométrique  $b$  augmentée dans le rapport des densités  $p$  et  $D$  du mercure et de l'air, serait  $\frac{p \cdot b}{D}$ ; d'où nous concluons que notre coefficient constant n'est que la hauteur de l'atmosphère dans la supposition d'une densité constante divisée par le module des tables. On peut donc dire que la hauteur d'un lieu au-dessus d'un autre est égale à la hauteur de l'atmosphère multipliée par la différence entre les logarithmes naturels des colonnes barométriques observées à ces deux lieux; en supposant toutefois que l'atmosphère a partout le même degré de densité qu'au niveau de la mer, et qu'elle possède le même degré de température, d'humidité et de pesanteur que la masse d'air comprise entre les deux stations.



On voit encore, d'après ce qui vient d'être exposé, que notre coefficient (7955 mètres, en employant les logarithmes naturels), ou la hauteur de l'atmosphère dans la supposition d'une densité constante, est le module des *logarithmes barométriques*; en d'autres termes, que cette hauteur représente la sous-tangente d'une logarithmique dans laquelle les colonnes barométriques seraient les ordonnées, et les hauteurs correspondantes seraient les abscisses.









---

# TABLE

## DES CHAPITRES ET DES PARAGRAPHES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

---

### INTRODUCTION.

|                                                                   | Pages. |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| §. 1. <sup>er</sup> Objet de la géognosie. . . . .                | 1      |
| §. 2. Étymologie . . . . .                                        | 2      |
| §. 3. Coup d'œil général sur l'ensemble de la géognosie . . . . . | 3      |
| §. 4. Plan de cet ouvrage . . . . .                               | 11     |

### PREMIÈRE PARTIE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE GLOBE TERRESTRE,  
ET SUR LES MASSES MINÉRALES QUI LE COMPOSENT.

---

### CHAPITRE PREMIER.

DE LA FIGURE ET DE LA MASSE DU GLOBE TERRESTRE.

ART. I.<sup>er</sup> *Figure de la terre.*

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| §. 5. Figure déduite des lois de l'équilibre des fluides. . . . . | 14 |
| §. 6. Figure réelle d'après la mesure et l'observation . . . . .  | 18 |
| §. 7. Conséquence : la terre a été fluide. . . . .                | 22 |

SECT. I.<sup>re</sup> Inégalités de la surface des continents.ART. I.<sup>er</sup> Des montagnes et des chaînes de montagnes.

§. 24. Montagne. Ses parties . . . . . 63

§. 25. Idée générale d'une chaîne. Sa structure et  
ses parties . . . . . 65Parties d'une chaîne.

§. 26. Falte . . . . . 69

§. 27. Versants . . . . . 72

§. 28. Rameaux . . . . . 75

§. 29. Vallées . . . . . 77

§. 30. Cimes . . . . . 82

§. 31. Cols . . . . . 84

§. 32. Bassins et lacs dans les montagnes . . . . . 85

Rapport des chaînes entre elles.

§. 33. Liaison des chaînes entre elles . . . . . 89

§. 34. Limites entre les diverses chaînes . . . . . 92

§. 35. Direction générale des chaînes . . . . . 94

ART. II. Des collines.

§. 36. Collines . . . . . 96

ART. III. Des plaines.

§. 37. Plaines ordinaires ou basses . . . . . 97

§. 38. Plaines élevées : plateaux . . . . . 98

§. 39. Bassins des rivières . . . . . 100

§. 40. Observations relatives à la représentation  
des inégalités d'un terrain sur les cartes. 102SECT. II. Des inégalités du fond de la mer.

§. 41. Observations générales . . . . . 103

§. 42. Chaînes de montagnes sous-marines . . . 105

§. 43. Rochers et îles élevés par les zoophytes . . 105

CHAPITRE IV.

DES AGENTS QUI EXERCENT UNE ACTION SUR LA SURFACE DU GLOBE,  
ET DES DÉGRADATIONS OU CHANGEMENTS RÉSULTANT DE CETTE  
ACTION.

SECT. I.<sup>re</sup> Des agents et de la nature de leur action.ART. I.<sup>er</sup> Agents extérieurs.1. Action de l'atmosphère.

§. 44. Action de l'air sur la surface de la terre . . . 110

§. 45. Action de la chaleur. . . . . 112

§. 46. Action de la foudre . . . . . 112.

2. Action de l'eau.a) Action destructive.Mécaniquement.

§. 47. Eaux sauvages . . . . . 114

§. 48. Eau sous forme de courant : action de l'eau  
courante sur les rochers. . . . . 116

§. 49. Eau dans les lacs : érosion des digues. . . 120

§. 50. Eau dans la mer . . . . . 123

§. 51. Action de l'eau par son poids : éboule-  
ments . . . . . 127

§. 52. Effet de la congélation de l'eau . . . . 128

Chimiquement.

§. 53. Action dissolvante. . . . . 129

§. 54. Décomposition des roches. . . . . 130

b) Action reproductive.

§. 55. Distinction entre les formations mécaniques  
et les formations chimiques . . . . . 133

Mécaniquement.

§. 56. Eaux courantes . . . . . 135

§. 57. Eaux stagnantes. . . . . 137

Chimiquement.

§. 58. Formations sur les continents. . . . . 140

§. 59. Formations dans les mers. . . . . 147

## ART. II. Des agents intérieurs.

## a) Des volcans et des phénomènes volcaniques.

§. 60. Position des volcans . . . . . 149

§. 61. Idée générale des phénomènes volcaniques. 153

*Déjections.*

§. 62. Fumée. . . . . 157

§. 63. Cendres . . . . . 157

§. 64. Sables volcaniques. . . . . 159

§. 65. Scories . . . . . 160

§. 66. Pierres non fondues. . . . . 161

§. 67. Force de projection des volcans . . . . . 162

*Éruptions ou laves.*

§. 68. De la lave dans la montagne volcanique. . 163

§. 69. Sortie et marche des laves . . . . . 166

§. 70. Vitesse des courants de lave . . . . . 168

§. 71. Viscosité des laves. . . . . 169

§. 72. Lenteur du refroidissement. . . . . 170

§. 73. Chaleur des laves . . . . . 170

§. 74. Grandeur des courants. . . . . 172

§. 75. Éruptions aqueuses et boueuses . . . . . 173

§. 76. Petits volcans d'air et de boue : salses . . 179

§. 77. Eaux jaillissantes : *Geysers* . . . . . 181

§. 78. Volcans à l'état de calme. . . . . 183

§. 79. Phénomènes météorologiques liés aux éruptions . . . . . 185

§. 80. Pseudo-volcans ou couches de houille en ignition . . . . . 187

## b) Des tremblements de terre.

§. 81. Différentes espèces de tremblements de terre 192

§. 82. Volcans produits par les tremblements de terre. . . . . 194

§. 83. Phénomènes des tremblements de terre . . 196



|                                                                                                | <i>Pages.</i> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| §. 84. Observations sur la distance à laquelle se<br>propagent les tremblements de terre . . . | 200           |
| c) <i>Observations sur les causes des phénomènes volca-<br/>niques.</i>                        |               |
| §. 85. Le calorique est le principal agent. . . .                                              | 202           |
| §. 86. Combustible qui sert d'aliment au feu vol-<br>canique . . . . .                         | 203           |
| §. 87. Cause des incendies volcaniques . . . .                                                 | 205           |
| §. 88. Matière des laves . . . . .                                                             | 208           |
| §. 89. Cause des éruptions . . . . .                                                           | 208           |
| §. 90. Position des foyers volcaniques . . . .                                                 | 212           |
| SECT. II. <i>Des changements et dégradations opérés à la<br/>surface de la terre.</i>          |               |
| §. 91. Surface de la terre immédiatement après sa<br>formation . . . . .                       | 215           |
| ART. I. <sup>er</sup> <i>Effets de la pesanteur.</i>                                           |               |
| §. 92. Affaissements, fentes, éboulements. . . .                                               | 218           |
| ART. II. <i>Effets dus aux éléments atmosphériques.</i>                                        |               |
| a) <i>Abaissement des terrains élevés.</i>                                                     |               |
| §. 93. Circonstances de l'abaissement. . . . .                                                 | 223           |
| <i>Preuves.</i>                                                                                |               |
| §. 94. Filons en saillie. . . . .                                                              | 224           |
| §. 95. Pyramides et pics . . . . .                                                             | 226           |
| §. 96. Montagnes isolées . . . . .                                                             | 227           |
| §. 97. Blocs isolés. . . . .                                                                   | 229           |
| b) <i>Morcellement des couches.</i>                                                            |               |
| §. 98. Circonstances du morcellement . . . .                                                   | 231           |
| §. 99. Causes des inégalités du morcellement . .                                               | 234           |
| <i>Formation des vallées.</i>                                                                  |               |
| §. 100. Circonstances de cette formation . . . .                                               | 236           |
| §. 101. Appréciation de la force des agents qui<br>concourent à l'excavation des vallées . . . | 237           |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| §. 102. La disposition et la structure des vallées<br>décèlent leur origine . . . . .                                            | 242 |
| §. 103. Opinion de Deluc et autres sur la forma-<br>tion des vallées . . . . .                                                   | 245 |
| §. 104. Produits de la décomposition des roches<br>transportés dans les plaines et dans les<br>mers. Objection de Deluc. . . . . | 248 |
| §. 105. Différentes sortes de vallées quant au mode<br>de formation . . . . .                                                    | 249 |
| ART. III. <i>Effets dus aux volcans et aux tremblements<br/>de terre.</i>                                                        |     |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| §. 106. Effets des volcans . . . . .               | 250 |
| §. 107. Effets des tremblements de terre . . . . . | 258 |
| §. 108. Conclusion du chapitre . . . . .           | 264 |

## CHAPITRE V.

DE LA STRUCTURE ET DE LA SUPERPOSITION DES MASSES  
MINÉRALES.

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| §. 109. Différentes sortes de structure . . . . .                              | 266 |
| §. 110. Définitions. Minéral. Roche. Couche. For-<br>mation. Terrain . . . . . | 267 |
| §. 111. Différents ordres de structure géognostique                            | 269 |
| ART. I. <sup>re</sup> <i>Structure des roches.</i>                             |     |
| §. 112. Différentes sortes de structure dans les<br>roches . . . . .           | 271 |
| §. 113. Structure simple . . . . .                                             | 272 |
| §. 114. Structure fragmentaire . . . . .                                       | 273 |
| §. 115. Structure granitique . . . . .                                         | 274 |
| §. 116. Structure schistense . . . . .                                         | 274 |
| §. 117. Structure porphyrique . . . . .                                        | 275 |
| §. 118. Structure amygdaloïde . . . . .                                        | 276 |
| §. 119. Structure double . . . . .                                             | 280 |

|                                                                                       | Page. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| §. 120. Structure irrégulière . . . . .                                               | 280   |
| §. 121. Roches auxquelles il convient de donner<br>un nom . . . . .                   | 281   |
| AST. II. <i>Structure des masses et couches minérales.</i>                            |       |
| §. 122. Différentes sortes de divisions dans les<br>masses de roche . . . . .         | 283   |
| a) <i>De la stratification.</i>                                                       |       |
| §. 123. Définition . . . . .                                                          | 284   |
| §. 124. Détermination de la stratification . . . . .                                  | 284   |
| §. 125. Caractères auxquels on reconnaît les fis-<br>sures de stratification. . . . . | 286   |
| §. 126. Des roches stratifiées . . . . .                                              | 289   |
| §. 127. Observations sur les causes de la stratifi-<br>cation . . . . .               | 291   |
| b) <i>Division prismatique.</i>                                                       |       |
| §. 128. Division en parallépipèdes rectangles . . . . .                               | 296   |
| §. 129. Division prismatique (proprement dite). . . . .                               | 298   |
| §. 130. Division en plaques. . . . .                                                  | 302   |
| c) <i>Division en masses globuleuses.</i>                                             |       |
| §. 131. Structure globuleuse dans les roches cris-<br>tallisées . . . . .             | 304   |
| §. 132. Structure globuleuse dans les roches com-<br>pactes . . . . .                 | 311   |
| §. 133. Conséquences et remarques. . . . .                                            | 314   |
| AST. III. <i>Structure et étendue des formations.</i>                                 |       |
| a) <i>Structure ou composition.</i>                                                   |       |
| §. 134. Différentes sortes de couches dans les for-<br>mations . . . . .              | 317   |
| §. 135. Disposition réciproque des couches . . . . .                                  | 319   |
| b) <i>Étendue des formations.</i>                                                     |       |
| §. 136. Formations générales . . . . .                                                | 320   |
| §. 137. Formations partielles . . . . .                                               | 321   |
| §. 138. Étendue actuelle. . . . .                                                     | 322   |

ART. IV. *De l'assemblage ou de la superposition des formations (position des couches).*

- §. 139. Circonstances de la forme et position premières des couches. . . . . 325
- a) *Parallélisme des couches.*
- §. 140. Détermination du parallélisme. Conséquences tirées du non-parallélisme. (Dégradation du sol). . . . . 327
- §. 141. Age des couches. . . . . 330
- §. 142. Age relatif des cimes de montagnes. . . . . 330
- b) *De la forme et de la disposition des couches.*
- §. 143. Forme des couches. . . . . 333
- §. 144. Direction des couches. . . . . 335
- §. 145. Inclinaison des couches. . . . . 338
- §. 146. Remarques sur la forte inclinaison des couches. Redressement et renversement des couches. . . . . 340

## CHAPITRE VI.

## DES CHANGEMENTS SURVENUS PROGRESSIVEMENT DANS LA FORMATION DES MASSES MINÉRALES. CLASSEMENT DE CES MASSES.

- §. 147. Objet du chapitre . . . . . 347
- 1) *Différences entre les formations de différents âges.*
- §. 148. Différence sous le rapport de l'origine (ignée ou non-ignée) . . . . . 348
- §. 149. Changement dans la nature minéralogique des roches. . . . . 351
- §. 150. Changement dans la texture . . . . . 352
- §. 151. Changement sous le rapport de la stratification . . . . . 355
- §. 152. Changement dans l'étendue des formations 356
- §. 153. Apparition successive des êtres organisés. 357

2) Classement des masses minérales.

§. 154. Principes du classement . . . . . 362

§. 155. Division des formations ou terrains en classes. . . . . 366

§. 156. Divisions faites en dernier lieu par quelques géologues. . . . . 369

§. 157. Remarques sur les classifications géognostiques . . . . . 372

§. 158. Classification des formations (Aperçu sur la) 374

Suites de formations.

§. 159. Suite du granite aux schistes . . . . . 380

§. 160. Suite des calcaires des diverses époques . 382

## NOTES.

NOTE I.<sup>re</sup> Définition de la géognosie par Werner, et de son rang dans les sciences naturelles . . . . . 384NOTE II. Épaisseur de la croûte du globe terrestre connue aux minéralogistes. . . . . 386NOTE III. Nature de la fluidité primitive des masses minérales.

Des terrains tertiaires et secondaires. . . 389

Des terrains intermédiaires . . . . . 391

Des terrains primitifs . . . . . 393

Observations relatives à la fluidité ignée de ces derniers terrains et du globe en général . . . . . 397Conclusion. . . . . 401NOTE IV. Des mouvements de la terre, et de ses rapports avec les autres corps du système planétaire. . . . . 402NOTE V. Quantité de vapeur aqueuse contenue dans l'atmosphère . . . . . 403NOTE VI. Des météorites. . . . . 406

NOTE VII. *Des sources (notamment des causes qui les rendent plus fréquentes ou plus abondantes dans certains terrains que dans d'autres)* . . . . 416

NOTE VIII. *Des îles produites par les volcans* . . . . 422

NOTE IX. *De la diminution des eaux de la mer* . . . . 427

NOTE X. *Des principaux systèmes de géogénie.*

Système de Buffon . . . . . 433

Système de Deluc. . . . . 434

Système de Hutton . . . . . 435

Système de Laplace. . . . . 436

Idée d'Herschell . . . . . 437

NOTE XI. *De la température du globe terrestre.*

PREMIÈRE PARTIE. *Des causes de la chaleur du globe.* . 438

SECONDE PARTIE. *Résultats de l'observation sur la chaleur du globe et sur sa distribution.*

ART. I.<sup>er</sup> *A la surface du globe.*

Immédiatement au-dessus . . . . . 443

Température de la couche superficielle de la terre . . . . . 445

ART. II. *Température au-dessous de la superficie du globe.*

A mesure qu'on s'enfonce dans le roc. . . . 450

A mesure qu'on s'enfonce dans les mers . . 458

ART. III. *Température dans l'atmosphère.*

A mesure qu'on s'y élève. . . . . 461

Limite inférieure des neiges. . . . . 468

NOTE XII. *De la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre.*

PREMIÈRE PARTIE. *De la méthode barométrique.*

Établissement de la formule fondamentale. . 472

Correction relative à la température de l'air. 476

Correction relative à l'état hygrométrique de

l'air . . . . . 477

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Correction relative à la différence dans la température des baromètres . . . . .                      | 478 |
| Correction relative à la différence d'action de la pesanteur sur les baromètres. . . . .              | 478 |
| Correction relative à la variation de la pesanteur dans le sens vertical . . . . .                    | 479 |
| Correction relative à la variation de la pesanteur en latitude . . . . .                              | 479 |
| Essai de la formule sur une hauteur connue.                                                           | 480 |
| <i>Tables pour le calcul des hauteurs.</i> . . . .                                                    | 482 |
| • SECONDE PARTIE. <i>Des erreurs de la méthode barométrique, de leurs causes et de leur grandeur.</i> |     |
| Erreurs de l'observation . . . . .                                                                    | 487 |
| Erreurs provenant du coefficient. . . . .                                                             | 488 |
| Erreurs provenant du facteur thermométrique.                                                          | 489 |
| Effet des heures . . . . .                                                                            | 492 |
| Effet des jours. . . . .                                                                              | 493 |
| Effet des saisons . . . . .                                                                           | 495 |
| Erreurs provenant du facteur barométrique .                                                           | 496 |
| <i>Considérations pratiques</i> . . . . .                                                             | 502 |
| SOLUTION ANALYTIQUE DU PROBLÈME . . . .                                                               | 503 |
| Calcul des tables . . . . .                                                                           | 508 |
| Réflexions théoriques . . . . .                                                                       | 509 |

FIN DU TOME PREMIER.

STRASBOURG, de l'imprimerie de F. C. LEVRAULT, imprim. du Roi.

663896











